



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ**

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

**ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE**

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

**NÁVRH TECHNOLOGIE VÝROBY ZÁVITOVÉ KONCOVKY  
Z PLASTU**

TECHNOLOGY DESIGN MANUFACTURING THREADED PLASTIC ENDS

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

MASTER'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

**Bc. Martin Vrátný**

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

**Ing. Bohumil Kandus**

**BRNO 2017**

# Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie  
Student: **Bc. Martin Vrátný**  
Studijní program: Strojní inženýrství  
Studijní obor: Strojírenská technologie  
Vedoucí práce: **Ing. Bohumil Kandus**  
Akademický rok: 2016/17

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

## Návrh technologie výroby závitové koncovky z plastu

### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Na základě zadaného tvaru plastového dílce vypracovat řešerši na technologii vstřikování plastů do forem, provést návrh technologického postupu a konstrukce vstřikovací formy včetně potřebných výpočtů.

### Cíle diplomové práce:

Cílem práce je komplexní návrh technologie výroby na úrovni technologického postupu a konstrukční výkresové dokumentace nástroje na závitovou koncovku z plastu podložený kontrolními výpočty a doplněný technicko–ekonomickým zhodnocením.

### Seznam doporučené literatury:

ŠTĚPEK, Jiří, Jiří ZELINGER a Antonín KUTA. Technologie zpracování a vlastnosti plastů. 1. Praha, Bratislava: SNTL, Alfa, 1989. ISBN DT 678.5(075.8).

SOVA, Miloš a Josef KREBS. Termoplasty v praxi. 1. Praha: Verlag Dashöfer, 2001. ISBN 80-8622-15-7.

ZEMAN, Lubomír. Vstřikování plastů. 1. Praha: BEN, 2009. ISBN 978-80-7300-250-3.

MENGES, Georg, Walter MICHAELI a Paul MOHREN. How to Make Injection Molds. 3. München, Wien: Carl Hanser Verlag, 2001. ISBN 978-3-446-21256-5.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17

V Brně, dne

L. S.

---

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.  
ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
děkan fakulty

## **ABSTRAKT**

VRÁTNÝ Martin: Návrh technologie výroby závitové koncovky z plastu

---

Diplomová práce předkládá návrh technologie výroby závitové součásti. V první části se zabývá literární studií plastických hmot a technologií vstřikování plastů. V druhé části je návrh konstrukce vstřikovací formy pro zadanou součást. Součástí praktické části je i správná volba materiálu a vstřikovacího stroje, který byl navržen na základě výpočtů technologických parametrů. V závěru této práce je technicko-ekonomické zhodnocení.

Klíčová slova: plasty, vstřikování, vstřikovací forma, návrh formy

## **ABSTRACT**

VRÁTNÝ Martin: Technology design manufacturing threaded plastic ends

---

This diploma thesis submits a proposal of technology design manufacturing threaded plastic ends. In the first part it deals with literary studies of plastics and plastic injection molding. In the second part is the design of an injection form for the specified component. Part of the practical part is also the right choice of material and the injection mold, which was designed based on the calculations of technological parameters. In the conclusion of this thesis is technical economic evaluation.

Keywords: plastics, injection molding, injection mold, mold design

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

VRÁTNÝ, Martin. *Návrh technologie výroby závitové koncovky z plastu*. Brno, 2017. 52s, 4 výkresy, 3 přílohy, CD. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů. Vedoucí práce Ing. Bohumil Kandus.

## **ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ**

Tímto prohlašuji, že předkládanou diplomovou práci jsem vypracoval samostatně, s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího diplomové práce.

V ..... dne 26.5.2017

.....

Podpis

## **PODĚKOVÁNÍ**

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu mé diplomové práce Ing. Bohumilu Kandusovi za cenné připomínky a rady týkající se zpracování diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat rodině za podporu v průběhu celého studia na VUT v Brně.

# OBSAH

Zadání

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

ÚVOD.....	10
1 ROZBOR ZADÁNÍ.....	11
2. PLASTY .....	13
2.1 Příprava syntetických makromolekulárních látek .....	13
2.2 Základní rozdělení plastů .....	14
2.3 Přísady a plniva do polymerů.....	16
2.4 Termodynamické vlastnosti plastů.....	17
3 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ PLASTŮ .....	19
3.1 Vstřikovací cyklus.....	20
3.2 Tlakový diagram .....	20
3.2.1 Jednotlivé časy v tlakovém diagramu .....	21
3.3 Faktory ovlivňující kvalitu výstřiku.....	23
3.4 Vstřikovací forma.....	23
3.5 Vtokové soustavy .....	24
3.5.1 Studený vtokový systém .....	25
3.5.2 Vyhřívané vtokové soustavy (VVS) .....	27
3.6 Temperace forem .....	29
3.7 Vyhazovací systém.....	30
3.8 Odvzdušnění forem .....	30
3.9 Vstřikovací stroje .....	30
3.9.1 Vstřikovací jednotka .....	31
4 NÁVRH VSTŘIKOVACÍ FORMY .....	33
4.1 Volba materiálu výstřiku.....	33
4.2 Výpočet technologických parametrů.....	34
4.3 Konstrukční řešení .....	39
4.3.1 Určení násobnosti formy a volba vtokové soustavy .....	39
4.3.2 Zaformování a určení dělicích rovin .....	40
4.3.3 Temperační systém .....	41



4.3.4 Vyhazovací systém .....	42
4.3.5 Pohyb formy.....	43
4.3.6 Manipulační prvek .....	45
4.3.7 Materiál formy .....	45
4.4 Volba vstřikovacího stroje .....	47
5 TECHNICKO EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ .....	48
6 ZÁVĚR .....	52

Seznam použitých zdrojů

Seznam použitých symbolů a zkratek

Seznam obrázků

Seznam tabulek

Seznam příloh

Seznam výkresů

## ÚVOD [4,7,11]

Polymerní materiály jsou lidstvu známy už několik stovek let, např. kaučuk je Evropanům znám už od roku 1496 a první pneumatika byla patentována v roce 1888. Výraznější rozvoj polymerů ovšem nastal až ve čtyřicátých letech dvacátého století a především v posledních třiceti letech zaznamenal obrovský rozvoj. V nynější době už jsou plasty těžko nahraditelnou součástí každodenního života a používají se téměř ve všech průmyslových odvětvích, jinak tomu je i ve strojírenství.

Polymery v řadě odvětví nahrazují kovy, keramiku, sklo či dřevo a to hned z několika důvodů. Mezi hlavní výhody polymerů patří například nízká měrná hmotnost, odolnost proti korozi, či ve většině případů i nízká pořizovací cena. Různé druhy polymerů, mají různé výhody, a proto je důležité volit pro danou součást správný druh polymerů, dle zadaných požadavků.

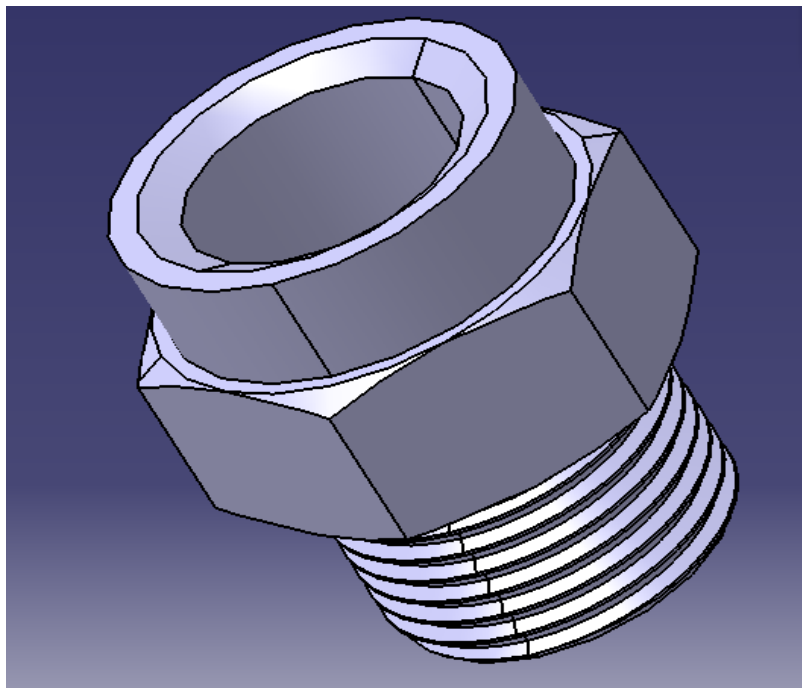
Polymerní materiály lze zpracovávat řadou různých technologií, jako je například, vytlačování, tvarování, lisování či válcování plastů. Pro strojírenské výrobky je ovšem nejpoužívanější technologií vstřikování. Vstřikování umožňuje výrobu tvarově složitých součástí s poměrně dobrou rozměrovou přesností a vstřikovatelné plasty jsou k mání v širokém sortimentu, umožňujícím různé vlastnosti konečného produktu. Vstřikování se ovšem používá především pro malé a střední výrobky (kvůli velikosti vstřikovacích strojů) a pro výrobu ve větších sériích (kvůli finančně náročné a pracné výrobě vstřikovacích forem).



Obr. 1 Příklady výrobků z plastů [16]

## 1 ROZBOR ZADÁNÍ

Řešenou součástí je závitová koncovka z plastu, viz obr. 2. Tato koncovka slouží k rozvodům teplé a studené vody, na což se musí dbát při výběru materiálu. Tato součást byla dříve vyráběna výhradně z temperované litiny tzv. fitinka. Potrubí bývalo dříve výhradně z pozinkované oceli a bylo spojené právě zmiňovanými fitinkami. Vzhledem k vysoké ceně oceli, vysoké hmotnosti či pracné výrobě závitů, začínají tyto materiály pozvolna vytlačovat materiály plastové.



Obr. 2 Model zadané součásti se závitovým koncem

### 1.1 Výrobní možnosti / variantní řešení [3,12]

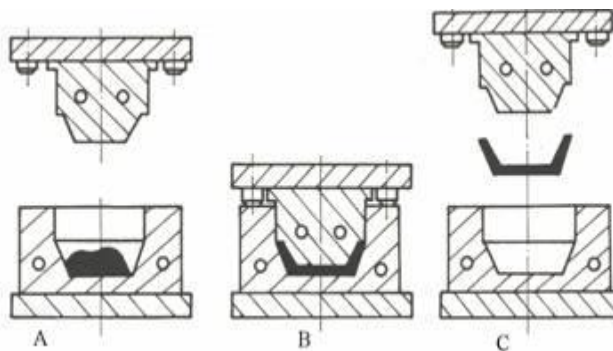
Výrobu zadané závitové součásti lze realizovat několika možnými způsoby. Jako nejvhodnější se jeví technologie lisování a technologie vstřikování.

- Technologie lisování

Lisování bylo používáno jako jeden z prvních technologických postupů na zpracování plastických hmot. Při této technologii se nejčastěji zpracovávají reaktoplasty.

Jedná se o tváření plastů ve vytápěné ocelové formě, kdy na materiál působí teplota a předepsaný tlak. Základní technologické parametry lisování jsou teplota, tlak a doba vytvrzování.

Dutina se naplní práškem či tabletami o daném objemu, viz obr. 3. V důsledku působení tepla dochází k plastikaci a tlakem tvárníku se jednak dokončí plastikace a také dojde k zaplnění tvarové dutiny a získání požadovaného tvaru. Následně se forma odlehčí, z důvodu odplynění daného plastu. V materiálu následně proběhne vytvrzení, což je nejdelsí část lisovacího cyklu. Po úplném vytvrzení se forma otevře, vyhodí se výlisek a forma se důkladně očistí, poté se celý cyklus opakuje.

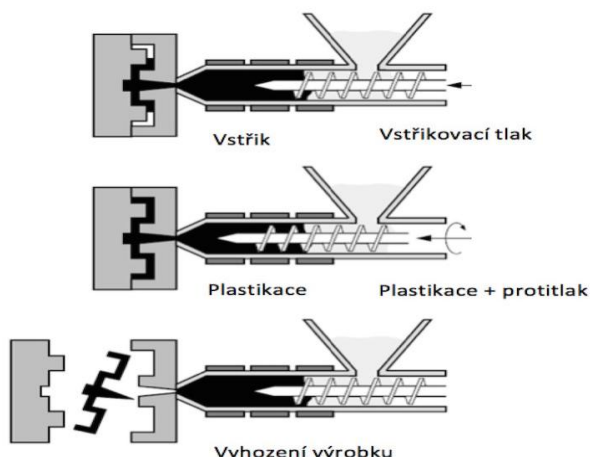


Obr. 3 Princip lisování plastů [12]

- Technologie vstřikování

Technologie vstřikování je v dnešní době nejrozšířenější technologií na zpracování plastů. Výrobky vyrobené touto technologií se vyznačují dobrou tvarovou i rozměrovou přesností. Nejrozšířenějším druhem plastů pro vstřikování jsou termoplasty, které se vyznačují velkým množstvím různorodých vlastností. Největší nevýhodou této metody jsou vysoké pořizovací náklady na vstřikovací stroj a formu, proto se tato technologie volí pro velkosériové výroby.

Plast se ve formě granulí nasype do násypky, z níž je odebírán pracovní částí vstřikovacího stroje, což je v dnešní době v drtivé většině případů šnek, který dopravuje plastickou hmotu do tavicí komory, kde za působení tření a tepla plast taje a dochází ke vzniku taveniny. Takto vzniklá tavenina se následně vstřikuje do dutiny formy, kterou zcela naplní a vytvoří její tvar, viz obr. 4. Plast poté chladne a po úplném ztuhnutí se forma otevře a výstřik je vyhozen, následně se celý cyklus opakuje.



Obr. 4 Princip vstřikování plastů [3]

Z vybraných možností byla zvolena technologie vstřikování, která bude v následujících kapitolách podrobně popsána. Vstřikování bylo vybráno z několika důvodů:

- Zadaný dílec se bude vyrábět velkosériově, přičemž v takovém případě je nejdůležitějším faktorem čas. Technologie vstřikování je produktivnější než technologie lisování.
- Lisování je postupně vytlačováno vstřikováním, důvody jsou kromě zmiňovaného kratšího výrobního cyklu i ty, že odpadají dodatečné operace či je snížena prašnost.
- Lisování slouží především ke zpracování reaktoplastů, přičemž pro zadaný dílec je nejvhodnější termoplast.

## 2 PLASTY [21]

Plasty jsou materiály, které jsou složeny z polymeru a aditiv, která jsou přidávána z důvodu požadovaných vlastností. Polymery jsou syntetické či přírodní sloučeniny, v jejichž makromolekule se mnohokrát opakuje monomerní jednotka. Kombinace různých monomerních jednotek a přísad, umožňuje velkou proměnlivost struktur a vlastností výsledných látek.

### 2.1 Příprava syntetických makromolekulárních látek [8,22]

Syntetické plasty lze získávat několika různými chemickými postupy:

- Polymerace
- Polykondenzace
- Polyadice

V průmyslové praxi však lze pro výrobu plastů využívat i kombinaci těchto reakcí. Tento postup je pak označován jako příprava smíšenými polyreakcemi.

Posledním způsobem je tzv. modifikace plastů, při které dochází za pomoci vhodných reakcí k vytváření plastů s podobnou strukturní stavbou, ale s jinými vlastnostmi.

- Polymerace

Při této řetězové reakci spolu reaguje velké množství monomerních látek za vzniku dlouhých makromolekul (polymerů). Jedná se o „vsunutí“ molekuly s násobnou vazbou do vazby jednoduché. Při polymeraci nedochází k vytvoření vedlejších produktů.

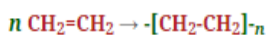
K vytvoření polymeračního procesu je nutné nejprve molekuly zaktivovat. K aktivaci může dojít buď vnějšími vlivy (světlo, teplo) nebo častěji chemickým působením. K druhé variantě je zapotřebí katalyzátor (iniciátor), což je snadno aktivující se činidlo.

Polymerační děj lze rozdělit na tři hlavní fáze: a) iniciace (začátek reakce) b) propagace (růst řetězce) c) terminace (zakočení řetězce).

Pokud dochází k polymeraci jedné látky, hovoříme o tzv. homopolymeraci, když reaguje dvě a více látek, jedná se o kopolymeraci, viz obr. 5.

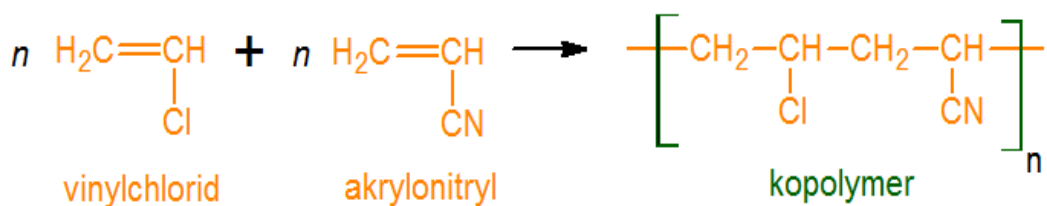
Mezi nejvýznamnější polymery, které jsou získány touto reakcí, patří například: PE, PP, PVC, PTFE, PS či syntetické kaučuky.

Příklad homopolymerace:



ethylen      polyethylen

Příklad kopolymerace:



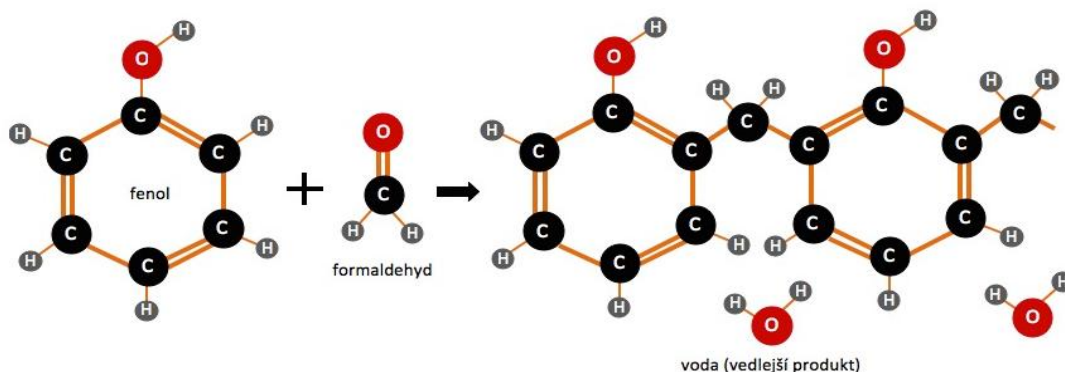
Obr. 5 Příklady polymerace [8]

- Polykondenzace

Při této polyreakci dochází ke slučování monomerů za vzniku makromolekulární látky (polymeru) a za současného vzniku vedlejšího produktu (voda, alkohol, amoniak, atd.), viz obr.6 .

Na rozdíl od polymerace nemá výchozí produkt shodné složení jako monomery, z kterých se získává. Podmínkou pro vznik této reakce je přítomnost alespoň dvou funkčních skupin.

Mezi nejvýznamnější polymery, které jsou získány touto reakcí, patří například: PET, PA, PES či silikony.

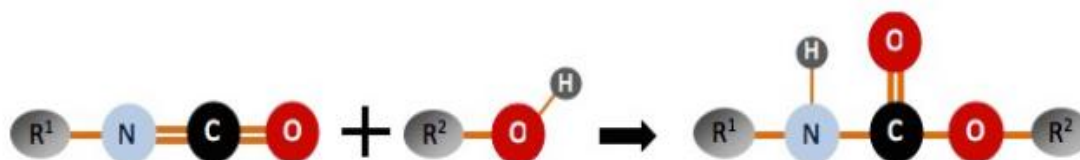


Obr. 6 Schéma přípravy fenol-formaldehydu polykondenzací [4]

- Polyadice

Jedná se o chemickou reakci, při které nevzniká žádný vedlejší produkt a probíhá obdobně jako polykondenzace, viz obr. 7.

Mezi nejvýznamnější polymery, které jsou získány touto reakcí, patří především polyuretany.



Obr. 7 Schéma přípravy polyuretanu polyadicí [4]

## 2.2 Základní rozdělení plastů [12,15,21]

Plasty lze rozdělit podle mnoha různých hledisek. Hlavním kritériem u dělení plastů je jejich chování za zvýšených teplot.

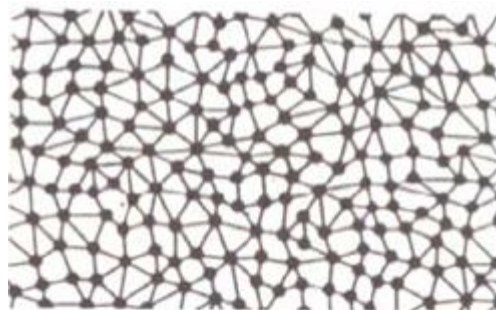
Na základě teplotního chování dělíme plasty na:

- **Termoplasty** – jedná se o polymerní materiál, který při zahřívání měkne a postupně přechází ve viskózní taveninu. V tomto stavu lze snadno tvářet a zpracovávat různými technologiemi. Po ochlazení termoplasty ztuhnou do tvaru konečného výrobku. Ke ztuhnutí dochází při ochlazení pod teplotu tání  $T_M$  (semikrystalické plasty) nebo teplotu viskózního toku  $T_f$  (amorfní plasty). Jelikož při zahřívání nedochází ke změnám chemické struktury, může se tento proces měknutí a tuhnutí mnohokrát opakovat. Jedná se pouze



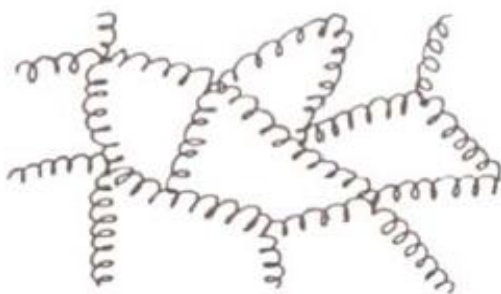
o fyzikální proces. Mezi termoplasty patří většina zpracovávaných hmot, jako například polypropylen (PP), polyetylen (PE), polystyren (PS), polyamidy (PA) a mnoho dalších.

- **Reaktoplasty** – jedná se o polymerní materiál, který se dříve nazýval jako termoset či duromer. V první fázi zahřívání také měknou a lze je tvářet, ovšem pouze omezenou dobu. Během dalšího zahřívání dochází k chemické reakci a dochází k prostorovému zesíťování struktury. Tento jev se označuje jako takzvané vytvrzování. Tento děj je nevratný a tento plast je již nerozpustný a netavitelný (dalším zahříváním by došlo k degradaci materiálu). Mezi termoplasty patří například epoxidové pryskyřice, polyesterové hmoty, fenolmormaldehydové hmoty atd.



Obr. 8 Nadmolekulární struktura reaktoplastů [12]

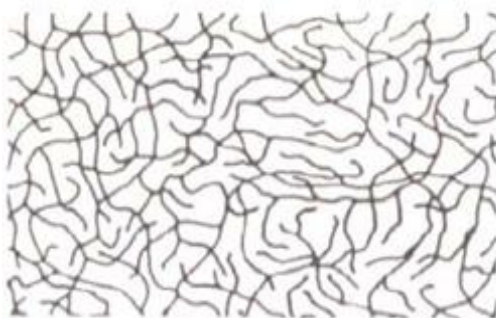
- **Elastomery** - mají amorfni strukturu, která v počáteční fázi ohřevu měkne a lze ji tvářet. Při dalším zvyšování teploty dojde k prostorovému zesíťování struktury a takzvanému vytvrzování. Tento proces se u elastomerů nazývá vulkanizace, což je proces, při kterém je přírodní či syntetický kaučuk přetvořen na pryž.



Obr. 9 Nadmolekulární struktura elastomerů [12]

Dalším kritériem, podle kterého lze dělit plasty je jejich nadmolekulární struktura. Na základě nadmolekulární struktury dělíme plasty na:

- **Amorfní plasty** – u těchto plastů zaujímají molekuly zcela nahodilou pozici (chaotická struktura). Základním morfologickým útvarem této struktury jsou takzvané globuly, což jsou klubička o velikosti 10 až 30 nm, které jsou tvořeny chaoticky stočenými makromolekulami. Amorfní plasty jsou charakteristické tvrdostí, vysokou pevností, křehkostí a průhledností. Součinitel teplotní roztažnosti je u těchto plastů nižší, než u semikrystalických plastů. Použitelnost amorfních polymerů je do teploty zesíťování  $T_g$ . Mezi amorfní plasty patří například PS, PMMA či PC.



Obr. 10 Struktura amorfních plastů [12]

- **Krystalické plasty (semikrystalické)** – tyto plasty se vyznačují určitým stupněm uspořádanosti. Ten je označován jako stupeň krystalinity a pohybuje se od 40 do 90%. Stupeň krystalinity vyjadřuje relativní podíl uspořádaných oblastí, které jsou uloženy mezi



Obr. 11 Struktura semikrystalických plastů [12]

amorfními oblastmi. Tento stupeň nikdy nemůže dosáhnout 100%, proto označujeme tyto plasty jako semikrystalické. Bývají mléčně zakalené, jelikož krystalizace polymerů má za důsledek ztrátu průhlednosti. Charakteristická je pro ně houževnatost. Modul pružnosti a pevnost roste společně se stupněm krystalinity. Použitelnost semikrystalických plastů je do teploty tání  $T_M$ . Patří sem například PP, PA, POM, PTFE atd.

## 2.3 Přísady a plniva do polymerů [4,21,22]

Využití polymerů v čistém stavu je jen velmi malé. Většina polymerů obsahuje různé přísady, díky nimž lze docílit požadovaných vlastností pro konkrétní aplikace. Základní vlastnosti jsou ovšem vždy dány typem plastu. Pomocí přísad lze vlastnosti plastu zlepšovat, chránit jej vůči degradaci, snížit jeho cenu, ovlivňovat zpracovatelnost atd.

- **Tepelné stabilizátory** – úkolem tepelných stabilizátorů je zpomalit degradační procesy a zlepšit odolnost plastů vůči zvýšeným teplotám, které se používají při jejich zpracování. Díky těmto stabilizátorům se také zvyšuje celková tepelná odolnost plastu, čímž se rozšiřuje i jeho celkové využití.
- **Světelné stabilizátory** – zpomalují degradační procesy, které jsou zapříčiněné slunečním zářením. Pro plasty je nejnebezpečnější UV záření, které vyvolá vznik volných radikálů a ty mohou vyvolávat degradační proces. Princip spočívá v přidání UV stabilizátorů, které UV záření nepropustí (např. saze) nebo jej pohltí a zajistí jeho přeměnu na tepelnou energii nebo na záření o větší vlnové délce, které je pro plasty neškodné.
- **Barviva** – barevné pigmenty, které dodávají plastům požadovaný barevný odstín. Barviva mohou být organická či anorganická. Organická se na rozdíl od anorganických v plastech rozpouští, tudíž zachovávají jejich průhlednost, viz obr. 12. Zvolený pigment musí být odolný vůči běžným zpracovatelským teplotám daného plastu.



Obr. 12 Použití barviv do plastů [4]

- **Maziva** – tyto látky usnadňují zpracování těžko zpracovatelných plastů jako například PVC, PS či PTFE. Hlavními doplňujícími hledisky na zpracovatelnost je adheze ke zpracovatelskému zařízení (lepší vyjímání z formy) a snadnost přípravy taveniny (zkracování doby potřebné k plastifikaci).



- **Změkčovadla** – organické kapaliny, které mají vysoký bod varu a zlepšují ohebnost, rázovou houževnatost či tekutost taveniny. Zlepšení těchto vlastností má však za důsledek zhoršení jiných mechanických vlastností, jako je například mez pevnosti.
- **Plniva** – jedná se o látky organického či anorganického původu. Nejčastější využití plniv je pro vyztužení polymeru. Plniva jsou rozdělena na: a) částicové plniva (uhličitán vápenatý, oxidy křemíku, mleté minerály, atd.) b) vláknité plniva (skelné vlákna, uhlíková vlákna, kovová vlákna atd.)
- **Nadouvadla** – tyto přísady se přidávají do polymerů při výrobě lehčených hmot. Tyto látky se při zahřívání rozkládají a dochází k uvolňování plynů. Tyto plyny poté ve výrobku vytvářejí otevřené, uzavřené či propojené dutiny, jak lze vidět na obrázku č. 13. Nejčastěji se uvolňuje oxid uhličitý či dusík.



Obr. 13 Výroby zátky z TPE pomocí nadouvadla [4]

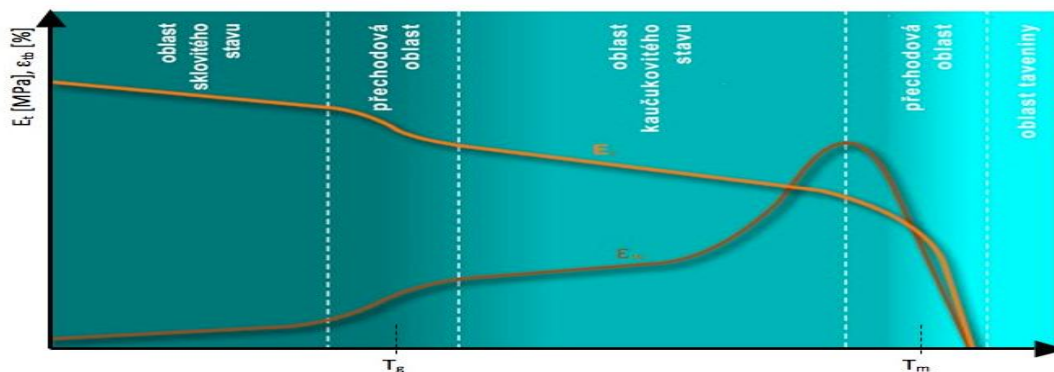
## 2.4 Termodynamické vlastnosti plastů [4,12,21]

Vlastnosti polymerů jsou z velké části závislé na teplotě. Plasty se v teplotních oblastech, které se nazývají přechodové teploty, mění skokově:

- $T_G$  je teplota skelného přechodu neboli teplota zesklenní. Při teplotě, která je nižší než tato teplota je amorfní plast tvrdý a křehký. Naopak při teplotách, které jsou vyšší než teplota skelného přechodu má amorfní plast houževnaté kaučukovité chování. Díky teplotě  $T_G$  lze třídit amorfní plasty. Platí totiž, že pokud má plast tuto teplotu nižší než je normální pokojová teplota, jedná se o kaučuky.
- $T_F$  je teplota viskózního toku. Tato teplota se určuje pouze u amorfních plastů a plast se při ní mění na viskózní kapalinu.
- $T_M$  je teplota tání krystalitů. Tato teplota se určuje pouze u semikrystalických plastů.

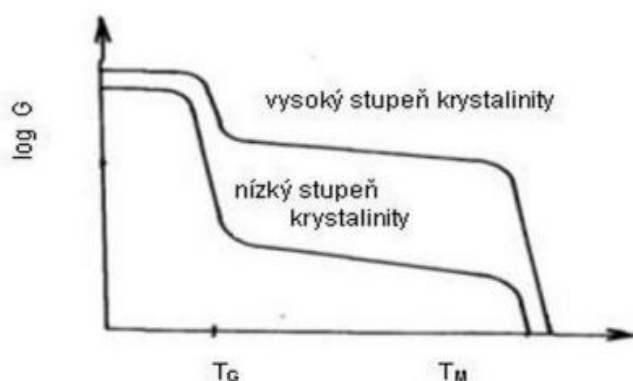
### ➤ Semikrystalické plasty

U těchto plastů dochází k největší změně vlastností v oblasti teploty  $T_M$ . Při této teplotě dochází k tání krystalitů, což vede ke změně tuhého stavu na stav kapalný. Závislost mechanických vlastností těchto plastů na teplotě je znázorněna na obrázku č. 14.



Obr. 14 Závislost modulu pružnosti a celkové tažnosti na teplotě u semikrystalických plastů [4]

Důležitým faktorem u semikrystalických plastů je stupeň krystalinity. U plastů s vysokým

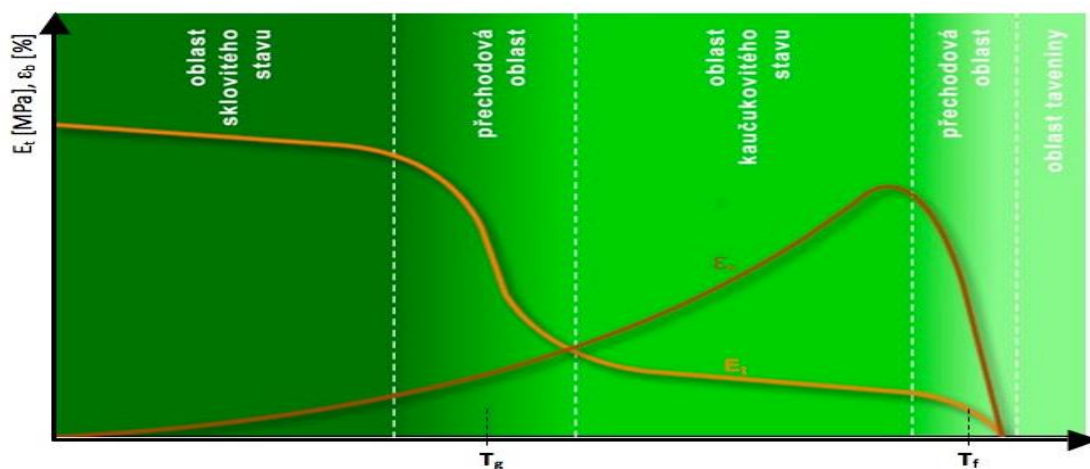


stupněm krystalinity dochází k největšímu poklesu modulu pružnosti při teplotě tání a u plastů s nízkým stupněm krystalinity dochází k velkému poklesu pružnosti už za teploty zesklenní, což lze vidět na obr. 15.

Obr. 15 Vliv stupně krystalinity na velikost modulu pružnosti ve smyku [12]

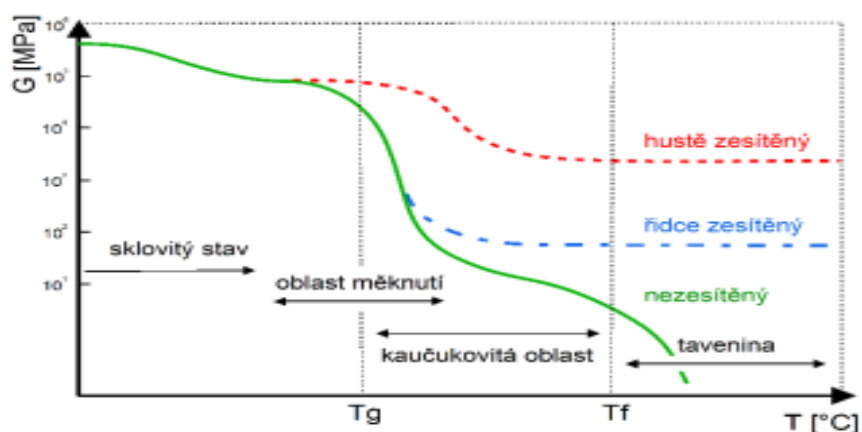
#### ➤ Amorfní plasty

U těchto plastů dochází k největší změně vlastností v oblasti teploty  $T_G$ . Modul pružnosti se v této oblasti snižuje asi o tři řády a koeficient teplotní roztažnosti se zvyšuje zhruba o 100 %, jak lze vidět na obrázku č. 16. Konkrétní hodnota závisí na vlastnostech plastů. Teplota zesklenní lze u amorfních plastů redukovat například přidávkou změkčovadel.



Obr. 16 Závislost modulu pružnosti a celkové tažnosti na teplotě u amorfních plastů [4]

Důležitým faktorem u amorfních plastů je faktor zesítnění. Zatímco u plastů s hustým zesítněním dochází při vysokých teplotách pouze k malému poklesu modulu pružnosti, tak u lineárních amorfních plastů se mění v oblasti zesklenní modul pružnosti ve smyku skokově, což lze vidět na obr. 17.

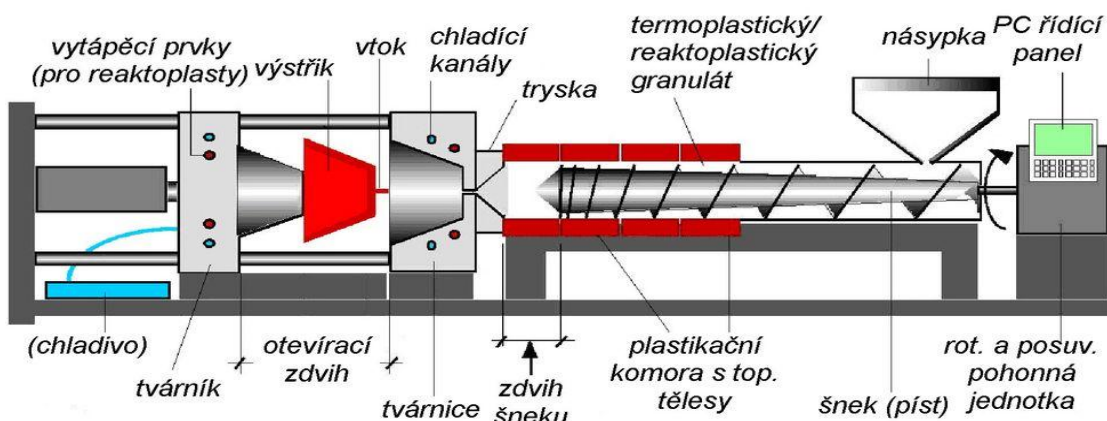


Obr. 17 Vliv struktury na modul pružnosti ve smyku [12]

### 3 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ PLASTŮ [13,15,21]

Vstřikování plastů je nejrozšířenější technologií na jejich zpracování, jedná se o proces diskontinuální, cyklický. Technologie vstřikování je vhodná pro velkosériové výroby a to z důvodu vysoké pořizovací ceny stroje a vstřikovací formy. Touto technologií lze zpracovávat téměř všechny druhy termoplastů, pro něž byla výhradně vyvinuta. V současné době však lze v určité míře vstřikovat i některé reaktoplasty a elastomery. Výrobky zpracované touto metodou se vyznačují dobrou tvarovou i rozměrovou přesností a vysokou reprodukovatelností fyzikálních a mechanických vlastností. Tvar těchto výrobků může být velmi jednoduchý, ale může být i složitý a jejich hmotnost se může pohybovat od zlomků gramů až po několik desítek kilogramů. Mezi další výhody vstřikování patří, že se jedná o bezodpadovou technologii a využití materiálu se blíží 100%.

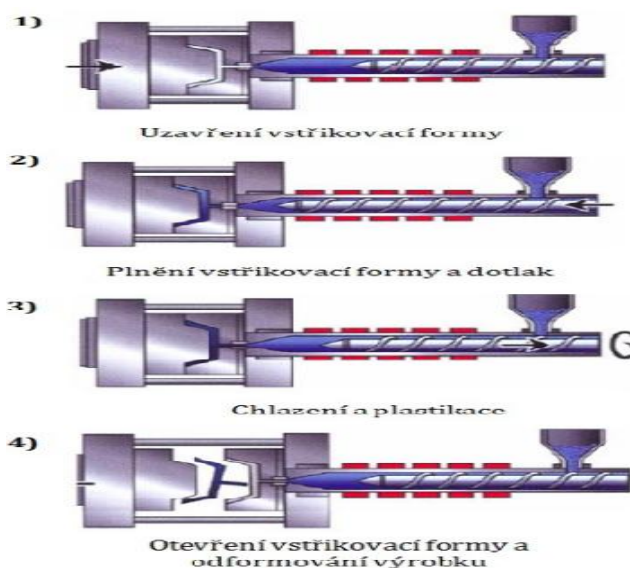
Vstřikování probíhá tak, že plast ve formě granulí je vysypán do násypky, z které je odváděn pracovní částí vstřikovacího stroje (šnek, píst). Z této části je granulát dopravován do tavící komory, kde za současného působení teploty a tření vzniká tavenina. Tavenina je poté vstřikována do formy, kterou by měla při správně zadaných parametrech celou zaplnit a zaujmout její tvar. Dále následuje tlaková fáze, která má za účel snížení smrštění a rozměrových změn. Teplo je odváděno do formy a ochlazením postupně výrobek tuhne. Na konci procesu se forma otevře a pomocí vyhazovačů je výrobek vyhozen, poté se celý proces opakuje, viz obr. 18.



Obr. 18 Schéma vstřikovacího stroje [12]

### 3.1 Vstřikovací cyklus [15,21]

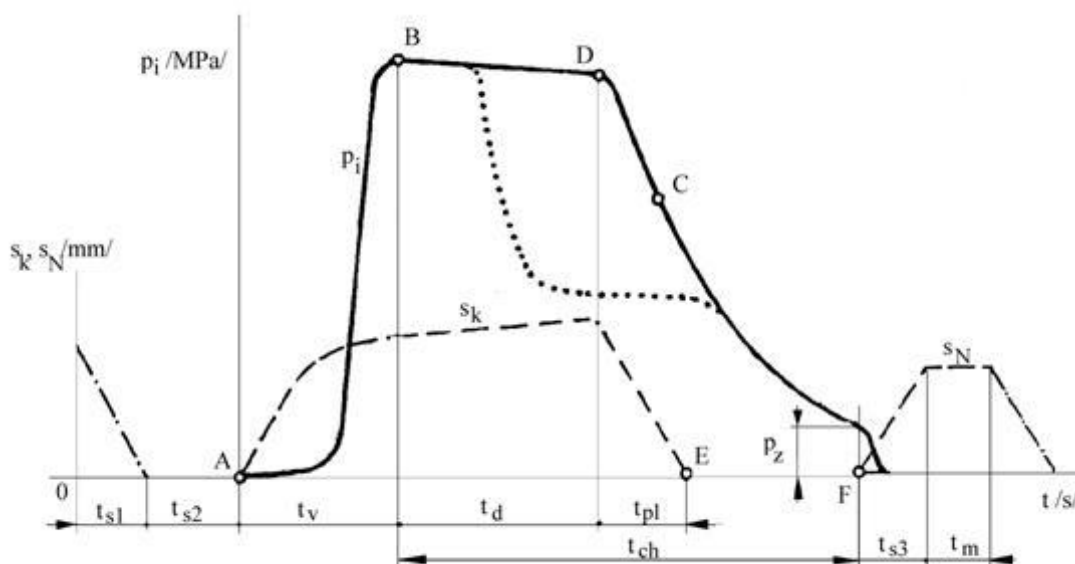
Vstřikování je cyklický děj, který je tvořený sledem přesně specifikovaných úkonů. Tento proces je neizotermický, během něhož prochází vstřikovaný plast teplotním cyklem. Vstřikovací cyklus je tvořen sledem přesně specifikovaných operací, které jsou charakterizovány jednak stejnou dobou trvání jednotlivých operací a také stejnými hodnotami termodynamických veličin vstřikovaného plastu. Při vstřikovacím cyklu je nutné jednoznačně definovat jeho počátek. Za tento počátek se považuje okamžik, který odpovídá impulzu k uzavření formy.



Obr. 19 Princip vstřikovacího cyklu [24]

### 3.2 Tlakový diagram [21,25]

Vstřikovací cyklus však lze posuzovat také z hlediska zpracovávaného plastu a lze jej vyjádřit jako závislost tlaku v dutině vstřikovací formy na čase, viz obr. 20. Tento tlak se značí  $p_i$  a je nazýván jako vnitřní tlak. Kromě vnitřního tlaku existuje i tlak vnější, který se označuje  $p$ , což je tlak vztažený na jednotku plochy průřezu šneku.



Obr. 20 Průběh vnitřního tlaku  $p_i$  v dutině formy během vstřikování [12]

### 3.2.1 Jednotlivé časy v tlakovém diagramu [13,21,25]

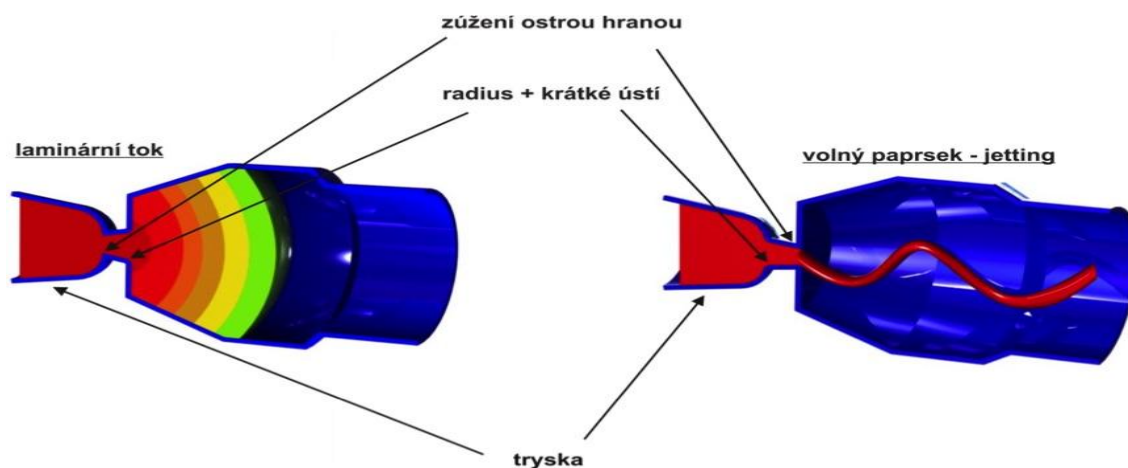
- **Strojní doby**

Strojní doby na zavření formy  $t_{s1}$  a na konci vstřikování doba na otevření  $t_{s3}$ , jsou závislé na rychlosti formy a na dráze, kterou musí tato forma urazit. Dráha musí být dostatečně velká, aby šlo výrobek po vystříknutí vyjmout. Ve snaze zkrátit časy vstřikování nemusí být vždy rychlost formy stejná, nýbrž na začátku bývá u některých strojů rychlost vysoká a u dosedání formy, či naopak při dojezdu formy na doraz, je rychlost formy snížena. V době  $t_{s2}$  je k formě přisunuta tavící komora. Celková součet  $t_{s1}$ ,  $t_{s2}$  a  $t_{s3}$  nepřesahuje u středně velkých strojů několik sekund.

- **Doba vstřikování ( $t_v$ )**

Jedná se o dobu, během které probíhá plnění dutiny formy. Po naplnění se tavenina v dutině ještě stlačí a tlak je na maximální hodnotě. Tato část je ukončena v bodě B. Jakmile je tavenina v dutině formy, začne předávat teplo do formy a chladne.

Doba  $t_v$  se odvíjí podle rychlosti šneku vpřed, pohybuje se ovšem od zlomku sekundy do několika sekund. Tento čas musí být nízký kvůli tomu, že vstřikovaný plast se ochlazuje a tuhne, což by při vysokých časech mělo za následek, že by plast nedostříkl na konec formy. Je důležité dbát na to, aby materiál vtékal do formy postupně, to znamená, aby vtékal laminárním tokem a nikoliv volným tokem, viz obr. 21. Rychlost šneku závisí na několika technických podmínkách, jako jsou například a) teplota taveniny  $T_{tav}$  b) vstřikovací tlak  $p$  c) teplota formy d) geometrický tvar požadovaného výstřiku e) řešení vtokové soustavy f) objem výstřiku g) druh vstřikovaného plastu.

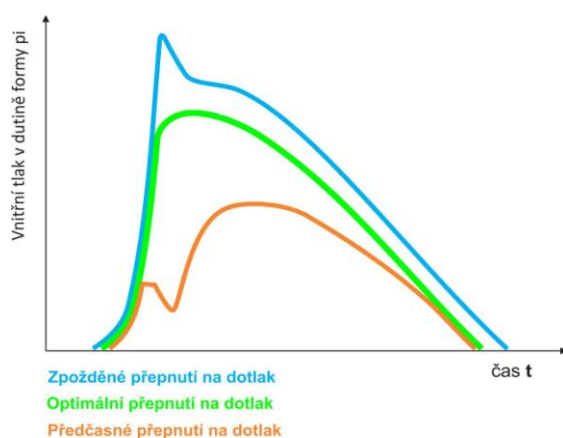


Obr. 21 Princip procesu plnění tvarové dutiny jettingem (vpravo) a laminárním tokem (vlevo) [13]



- **Doba dotlaku ( $t_d$ )**

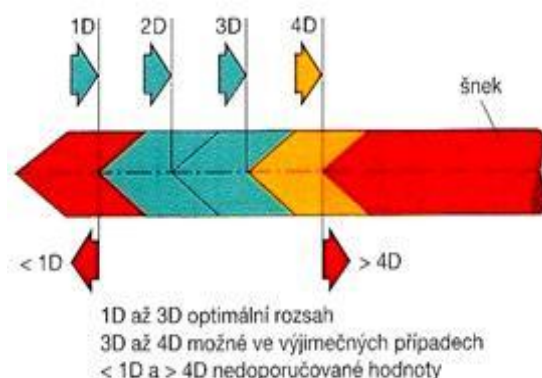
Po naplnění tvarové dutině dochází ke stlačování hmoty. V této době tlak prudce klesne a naopak rychlost náhle klesne. Pokud bychom tento vysoký tlak nechali příliš dlouho, došlo by ke vzniku takzvané tlakové špičky, ke zvětšení rozměrů a hmotnosti požadovaného výstřiku a v neposlední řadě k vysokému namáhání formy, které by vedlo k prohnutí formy a tzv. dýchnutí, viz obr. 22.



Obr. 22 Vliv doby přepnutí na průběh tlaku [13]

- **Doba plastifikace ( $t_{pl}$ )**

Jedná se o čas, který je potřebný k tomu, aby došlo ke zplastikování dávky vstřikovaného plastu, dále k jejímu rovnoměrnému zhomogenizování a umístění dávky před čelo šneku. Velikost zplastikované dávky se musí volit tak, aby zabezpečila nejenom naplnění tvarové dutiny a vtokového systému, ale musí i kompenzovat změnu objemu, která je vyvolána smrštěním. S posuvem šneku vzad se i snižuje účinná délka šneku a proto se musí zpětný tlak zvyšovat. Teplo, které vede k roztavení dávky je zhruba jednou třetinou dodáváno z elektrického odporového topení a asi ze dvou třetin vzniká při tření hmoty při hnětení.



Obr. 23 Velikost rozsahu objemu dávky u vstřikovacích strojů [13]

- **Doba chlazení ( $t_{chl}$ )**

Tato doba představuje největší část z celého cyklu. Pohybuje se od několika sekund do několika minut. Závisí především na tloušťce výstřiku, dále na druhu plastu, teplotě taveniny, teplotě formy a také na teplotě výstřiku v okamžiku, kdy je vyjímán z formy. Z důvodu snahy o co nejkratší časy, se tento čas zkracuje účinným chlazením formy a to zejména v místech, kde plast chladne nejpomaleji. Doba chladnutí začíná už během vstřikování a pokračuje během dotlaku. Ve fázi chladnutí dochází k ovlivnění nejenom struktury (orientace, krystalizace a vnitřní pnutí), ale i k ovlivnění kvality povrchu a to zejména lesku výstřiku.

### 3.3 Faktory ovlivňující kvalitu výstřiku [12,21,25]

O fyzikálních a mechanických vlastnostech výstřiku a jeho kvalitě rozhodují tyto parametry: a) zvolený druh plastu b) technologické parametry c) konstrukce formy d) volba stroje na vstřikování

Jednotlivé parametry se navzájem ovlivňují. Z hlediska výběru druhu plastu má na vlastnosti výstřiku vliv:

- Rychlost plastikace polymeru (měla by být co nejkratší).
- Tekutost polymeru (jeho reologické vlastnosti). Tekutost by měla být dostatečná a nesmí se měnit společně s teplotou příliš rychle.
- Dostatečně velká tepelná stabilita plastu v rozsahu zpracovatelských teplot, která by měla být co nejširší.
- Velikost vnitřního pnutí. Tato velikost by měla mít co nejnižší hodnoty.
- Smrštění polymeru, což je změna (zmenšení) rozměrů výstřiku oproti tvarové dutině.
- Uvolňování těkavých látek.

Z hlediska technologických parametrů, které se navzájem výrazně ovlivňují, má na konečné vlastnosti výstřiku a také jednotlivé fáze vstřikování největší vliv:

- *Vstřikovací tlak*, který ovlivňuje například rychlost plnění formy, uzavírací sílu, velikost smrštění, vnitřní pnutí nebo například orientaci molekul ve výstřiku.
- *Teplota taveniny* – konkrétní velikost této teploty závisí na druhu zvoleného plastu a ovlivňuje například vstřikovací tlak, tekutost plastu, dobu chlazení a v tom případě dobu celého cyklu, smrštění, dotlak atd.
- *Teplota formy* - konkrétní velikost této teploty závisí na druhu zvoleného plastu a také na charakteru daného výstřiku, ovlivňuje například tekutost plastu, rychlost plnění formy, dobu chlazení, lesk a povrch výrobku, teplotu taveniny, dotlak, smrštění atd. .
- *Rychlost plnění dutiny formy*, která by měla být co nejvyšší, je ovšem nutné brát ohledy na kontrolu teploty taveniny, která by mohla vést k degradaci hmoty, nevýhodou také je vysoká orientace makromolekul.
- *Velikost a doba trvání dotlaku*, které ovlivňují především rozměry výrobku, smrštění a vnitřní pnutí.

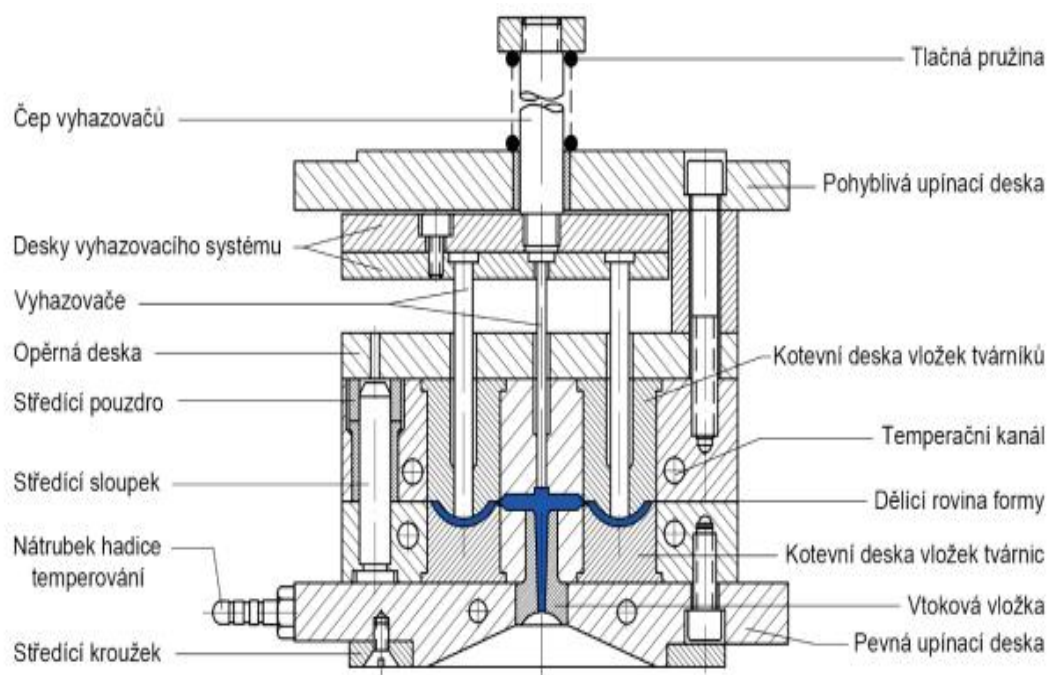
Popis, násobnost, vtokové soustavy, temperance forem, vyhazovací systém, odvzdušnění forem, volba ocelí pro formy.

### 3.4 Vstřikovací forma [5,25,26]

Vstřikovací forma je společně s plastifikační jednotkou nejdůležitější částí stroje. Formy jsou na strojích vyměnitelné a na jednom stroji lze použít několik různých forem. Vstřikovací forma slouží k dopravě roztaveného materiálu do dutiny formy, ke tvarování požadovaného dílu (odpovídá tvaru dutiny formy) a také k odvádění tepla, které je přivedeno taveninou polymeru. Musí také zajistit bezpečné, rychlé a v krátké časové periodě se opakující vyjmutí výstřiku. Formy musí dále odolávat vysokým tlakům, musí poskytovat výrobky s přesnými rozměry a musí pracovat automaticky. Jejich konstrukce a výroba je finančně náročná.

V současné době existuje mnoho různých typů forem, které se dají rozdělit podle několika hledisek:

- Podle počtu tvarových dutin:
  - jednonásobná
  - vícenásobná
- Podle konstrukce formy:
  - jednoduché
  - čelist'ové
  - s výsuvnými jádry
  - etážové
  - vyšroubovací
- Podle typu vstřikovacího stroje:
  - se vstřikováním do osy
  - se vstřikováním do dělicí roviny
- Podle uspořádání vtoku:
  - dvoudesková
  - třídesková
  - s horkým vtokem



Obr. 24 Řez vstřikovací formou [10]

### 3.5 Vtokové soustavy [20,21]

Vtoková soustava má za úkol dopravit taveninu plastu z plastikační komory do tvářecí dutiny formy. Naplnění dutiny má proběhnout v nejkratším možném čase a s minimálními odpory. Vtok by měl být směřován do místa s nejtlustší stěnou výstřiku. Při vstřikování s nadouvadlem by měl být naopak směřován do nejslabšího místa výstřiku. Tvar, rozměry



a umístění vtoku ovlivňuje například: a) rozměry, vzhled a vlastnosti výstřiku b) spotřebu plastu c) energetickou náročnost výroby d) náročnost začistění vtoku na výstřiku.

Uspořádání vtokové soustavy je dáno konstrukcí formy a její násobností. Při volbě vhodné vtokové soustavy je nutné vycházet z toho, že tavenina je vstřikována velkou rychlostí do relativně studené formy a má dojít k jejímu bezpečnému naplnění. Charakter výstřiku, ekonomika a způsob výroby a také požadavky zákazníka určují, zda se využije:

- *Studený vtokový systém*, který je vhodný pro jednodušší výstřiky a malosériovou výrobu. Na rozdíl od horkého vtokového systému, vždy v rámci výrobního cyklu vychladne.
- *Horký vtokový systém*, který je vhodný pro složitější výstřiky a hromadnou výrobu.

### 3.5.1 Studený vtokový systém [9,20,21]

Jestliže po ukončení vstřikování vtokový systém tuhne a je po otevření vyhozen společně se vstřikovanou součástí, jedná se o studený vtokový systém. Tento systém je tvořen hlavním (vtokovým) kanálem, rozváděcími kanály a před výstřikem se nachází ústí vtoku.

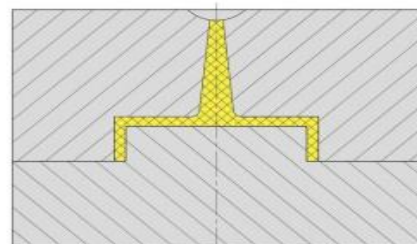
Hlavní vtokový kanál: tento kanál navazuje přímo na trysku vstřikovacího stroje. Je zhotoven jako kuželový a může ústít do rozváděcích kanálů nebo rovnou do výstřiku. Vtokový průměr bývá o 0,5 až 1 mm větší než je průměr trysky vstřikovacího stroje. Platí také, že největší průměr kanálu by měl být cca 0 1,5 mm větší než-li je maximální tloušťka stěny výstřiku.

Rozváděcí kanály: v případě že vtokový kanál ústí do rozváděcího kanálu, zhotoví se průměr rozváděcích kanálů stejný nebo nepatrně menší. V místě propojení vtokového a rozváděcího kanálu je nutná konstrukce jímky chladného čela taveniny, jako tahače vtoku, čímž je umožněno snadnější vyhození vtokového zbytku.

Ústí vtoku: je vytvořeno zúžením rozváděcího kanálu. Zúžením dochází ke zvýšení klesající teploty taveniny před vstupem do dutiny formy. Velikost průřezu ústí je volena co nejmenší, čímž se zajistí snadné začistění a zároveň spolehlivé naplnění dutiny formy.

- **Plný kuželový vtok**

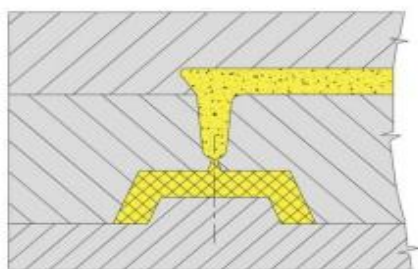
Tavenina je u tohoto druhu vtoku přiváděna rovnou do dutiny formy a to bez zúžení ústí. Vhodný je pro jednonásobné formy. Používá se u jednoduchých symetrických výrobků s větší tloušťkou stěn. Mezi největší nevýhody tohoto vtoku patří obtížné odstraňování vtokového zbytku.



Obr. 25 Řez plným kuželovým vtokem[9]

- **Bodový vtok**

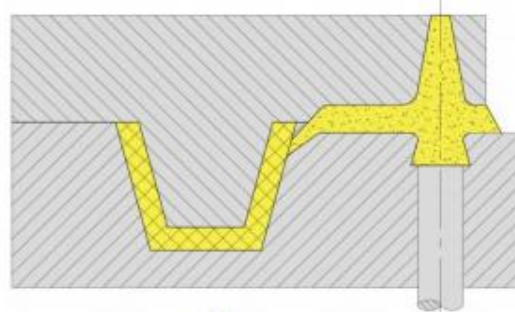
Tento vtok je nejznámějším typem vtoku se zúženým ústím. Ústí většinou bývá kruhového průřezu s průměrem kolem 1 mm. Může být vyveden ze vtokového kanálu, z rozváděcích kanálů (tento typ je na obr. 26) či z předkomůrky. Při tomto typu vtoku je nutný systém třídeskových forem. Směrem od výrobku je vtok zúžen, aby došlo k odtržení plastu v ústí. Tento typ vtoku by neměl být používán pro méně tekuté či plněné plasty. Naopak výhodou je oddělení vtokového systému od výstřiku při vyhození z formy a také větší variabilita při výběru umístění vtoku.



Obr. 26 Řez bodovým vtokem [9]

- Tunelový vtok

Jedná se o zvláštní typ bodového vtoku. Výhodou je, že vtokový zbytek může ležet v jedné rovině společně s výstřikem (obr. 27), tudíž u tohoto typu není nutná konstrukce složitější formy s více dělicími rovinami. Výroba těchto vtoků je vcelku náročná a dochází k ní pomocí elektroerozivního hloubení. Využívá se u vzhledově náročných výstřiků. Rozměry ústí jsou stejné jako u bodového vtoku.



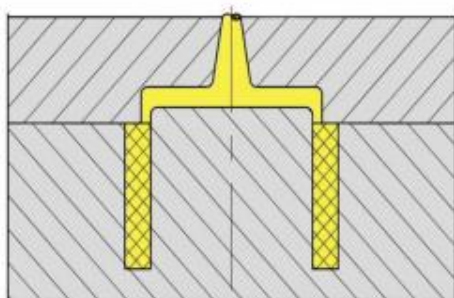
Obr. 27 Řez tunelovým vtokem [9]

- Boční vtok

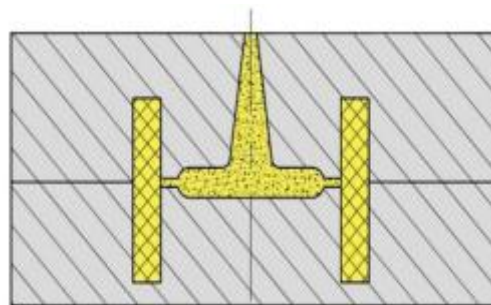
Tento vtok patří mezi často využívané typy. Jeho vtokové ústí je zúžené v dělicí rovině. Při odformování zůstává vtokový zbytek spojený s výstřikem. Běžně se zbytek od výstřiku ulamuje, popřípadě je možné v automatickém cyklu oddělovat tyto dvě části pomocí zvláštního odřezávacího zařízení přímo ve formě.

- Deštníkový a prstencový vtok

Tyto druhy vtoků se používají pro rotační výstřiky. Nevýhodou u těchto vtoků je velká spotřeba vstřikovaného materiálu, jelikož vtoky do dutin jsou objemnější. Naopak výhodou těchto řešení je rovnoměrné plnění rotačních výstřiků.



Obr. 29 Řez deštníkovým vtokem [9]

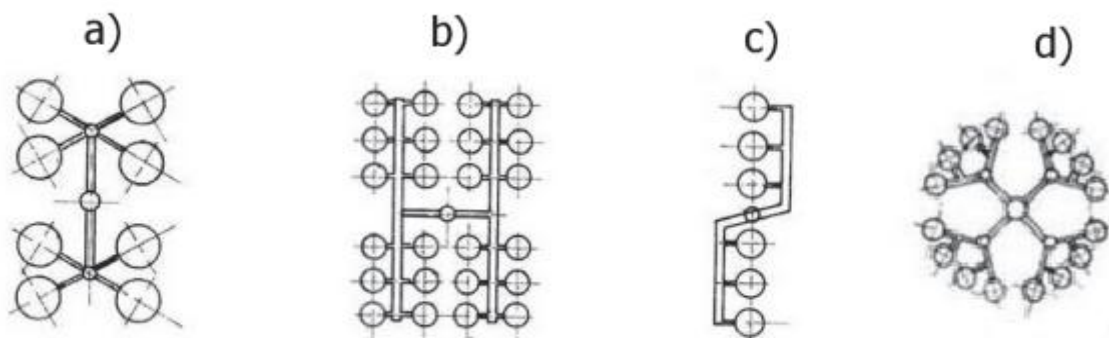


Obr. 28 Řez prstencovým vtokem [9]

Mezi další typy vtoků patří například banánový, talířový či šterbinový.

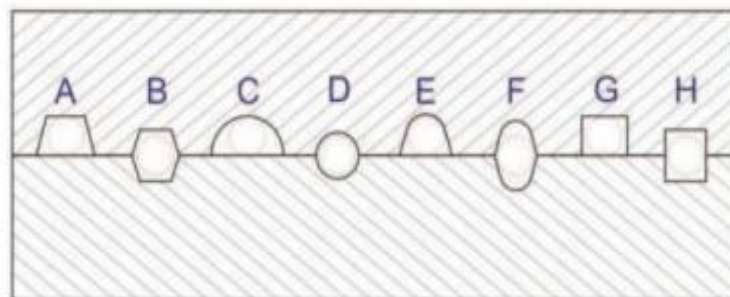
Při návrhu studených vtokových soustav je také nutné brát zřetel na uspořádání. Některá z možných uspořádání jsou vidět na obr. 30

- řadové uspořádání se stejnou délkou toku taveniny
- řadové uspořádání s nestejnou délkou toku taveniny (je nutná korekce ústí vtoků a snižování průměru rozváděcích kanálků)
- Symetrické hvězdicové uspořádání



Obr.30 Příklady uspořádání [12]

Při navrhování vstřikovací formy je nutné také počítat s možnou změnou technologických podmínek a to v závislosti na způsobu uspořádání kanálků, proto je nutné uzpůsobit hloubku a šířku vtoků. Různé varianty průřezů vtokových kanálků jsou vidět na obr. 31.



Obr. 31 Průřezy vtokových kanálků [1]

A,C,E,G - výrobně výhodné, B,D,F,H – výrobně nevýhodné

Zásady pro umístění vtokového ústí:

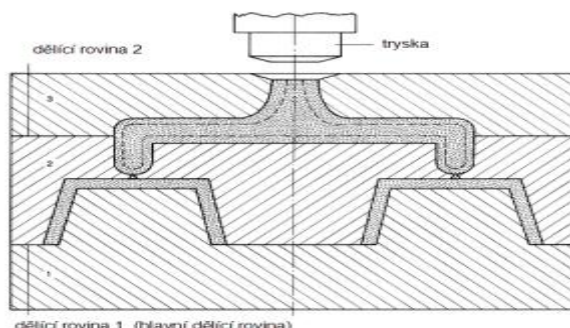
- Ústí umisťovat do nejtlustšího místa stěny výstřiku, jelikož tavenina by měla téct z místa většího průřezu do místa menšího průřezu.
- Ve středu dutiny tak, aby se dutina zaplňovala taveninou rovnoměrně.
- Vtoky pokud možno neumisťovat na pohledové stěny výstřiku, jelikož zůstávají viditelné stopy. Na tuto zásadu by se mělo dbát pouze u výstřiků, u nichž hraje estetická stránka důležitou roli.
- Nevstřikovat do míst, kde je při následném používání největší napětí, jelikož místa vtoku jsou kvůli koncentraci pnutí nejslabší místa celého výstřiku.
- U výstřiku, který obsahuje žebra, umisťovat vtok ve směru jejich orientace.

### 3.5.2 Vyhřívání vtokové soustavy (VVS) [5,14,21]

Z důvodu úspory plastového materiálu se začaly využívat horké vtokové soustavy. Vstřikování s využitím VVS spočívá v tom, že tavenina je po naplnění formy v celé oblasti vtoku až po jeho ústí v tekutém stavu, což dovoluje u tohoto typu vtokové soustavy použití pouze bodového vyústění s velmi malým průřezem.

- Izolované vtokové soustavy

Tento druh je v dnešní době již velmi málo používán. Princip je založený na vlastní termoplastické izolaci, jak zle vidět na obr. 32. Vtoková vložka a rozváděcí kanálky mají



až k ústí průřez takový, že během zpracovatelského cyklu nedošlo k úplnému zatuhnutí taveniny. Při prvním výstřiku dojde k zaplnění zesílených kanálů taveninou a zatímco vnější vrstva zatuhne a tvoří další tepelnou izolaci, tak plast uprostřed zůstává při dostatečně rychlém pracovním cyklu plastický.

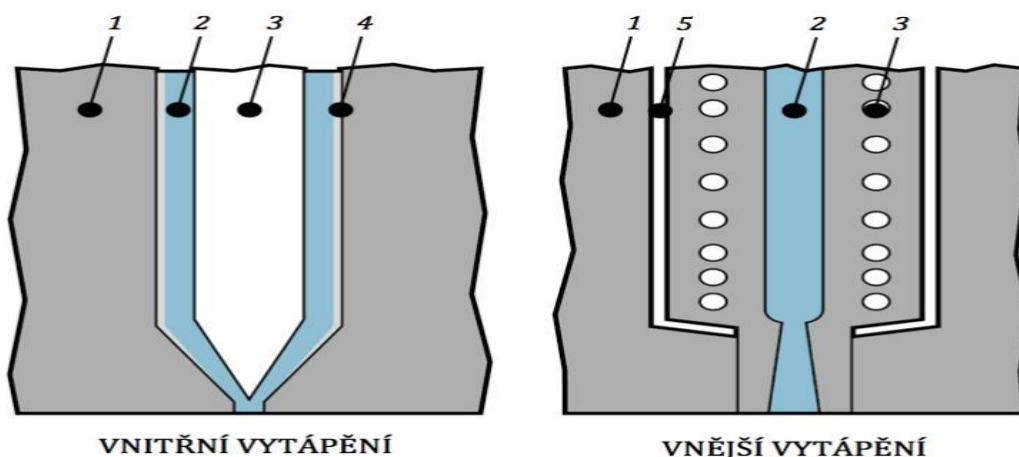
Obr. 32 Třidesková forma s izolovaným rozváděcím kanálem [14]

- Vyhřívání trysky

Tento druh je naopak velmi progresivní. Tryska je buď vyhřívána přímo, kdy má svůj vlastní topný článek i s regulací nebo je ohřívána nepřímo.

Mezi provedení přímo vyhřívání trysky patří dvě provedení:

- Trysky s vnějším topením. Tento druh trysky je na obr. 33. Vnější vytápění trysky udržuje požadovanou teplotu pomocí tepla, které je dodávané topnými tělesy umístěnými vně kanálu. Topné těleso bývá vyrobeno z vysoce vodivého materiálu, přičemž je kolem něho umístěno topení.
- Trysky s vnitřním topením využívají takzvaného torpédového tělesa, které je umístěné uvnitř kanálu a tavenina ho obtéká, jak lze vidět na obrázku č. 33. Torpédo by mělo být z materiálu, který má dobrou tepelnou vodivost. Hlavní nevýhodou tohoto řešení je to, že se v místě kontaktu taveniny se studenou stěnou tvoří zamrzlé vrstvy. Tyto vrstvy se mohou dostat do dutiny formy a tam vytvářet různé vzhledové vady či vady ovlivňující mechanické vlastnosti.



Obr. 33 Vnitřní a vnější vytápění trysky [5]

1- studená forma, 2 – kanál pro proud taveniny, 3 – topné těleso, 4 – ztuhlá vrstva plastu, 5 – izolační mezera tvořená vzduchem

**Výhody VVS:**

- Menší spotřeba materiálu
- Možnosti přizpůsobení polohy ústí vtoku
- Lepší přenos tlaku
- Vyšší produktivita
- Snížení nákladů na dokončovací práce

**Nevýhody VVS:**

- Vysoké pořizovací náklady
- Energetická náročnost

**3.6 Temperace forem [15,20,23]**

Formy při vstřikování se musí chladit neboli temperovat. Teplota taveniny vstřikovaného plastu má rozhodující vliv na průběh chlazení. Teplotou taveniny je výrazně ovlivňována velikost stupně orientace a vnitřního pnutí ve výstřiku. Temperačním systémem je systém kanálků a dutin, které umožňují přestup a prostup tepla z taveniny do temperovací kapaliny (vody) a do formy. S ohledem na vlastnosti výstřiku je požadováno, aby se vstřikovaná hmota ochlazovala ve všech místech stejně, pokud tomu tak není a chlazení probíhá nerovnoměrně, může se to projevit například trhlinami, vnitřním pnutím nebo deformací výstřiku. Temperační systém je většinou rozdělen do dílčích okruhů. Tyto dílčí okruhy bývají řešeny podle způsobu zaformování a také podle polohy dělicí roviny. Průřez kanálů bývá kruhový a má velikost 6 až 20 mm. Kromě kruhových kanálů lze použít i kanály obdelníkové. Délka kanálů se volí tak, aby rozdíl temperačních teplot na vstupu a výstupu byl maximálně 3 až 5 °C.

Pro udržení přibližně konstantní teploty stěn formy je nutné dodržovat tyto zásady:

- Volit vhodnou konstrukci temperačních kanálků ve formě
- Udržení pravidelného cyklu vstřikování
- Měření skutečné teploty stěn nainstalovanými čidly
- Nepřímo temperovat temperačními přístroji

Z pohledu odvádění tepla z formy se lze setkat se všemi druhy sdílení tepla (viz obr.) :

- $Q_L$  – odvod tepla pomocí vedení (kondukce) do upínacích desek stroje
- $Q_K$  – odvod tepla pomocí proudění (konvekce)
- $Q_R$  – odvod tepla pomocí sálání (radiace)

Tyto tři způsoby odvodu tepla z formy lze v konečné bilanci zanedbat a to zvláště u forem, které jsou temperované do 50 °C.

- $Q_M$  – teplo odváděné z formy pomocí temperačního média

Účinnost temperačního systému je závislá na množství protečeného média, na jeho teplotním spádu na vstupu a výstupu a také na druhu proudění. Proudění média by mělo být vířivé nikoliv laminární, čehož se dosáhne průtokem kolem vhodných překážek.

### 3.7 Vyhazovací systém [20,23]

Výstřiky z plastu se při ochlazování smršťují a ulpívají na tvarových součástech formy, proto se u této technologie musí využívat vyhazovací systém.

Používá se několik různých vyhazovacích systémů:

- U masivních výstřiků se využívá běžný způsob vyhazování pomocí *vyhazovacích kolíků*.
- U tenkostěnných výstřiků vyhazování pomocí kolíků využít nelze, hrozilo by totiž protržení stěny. Proto se u těchto druhů výstřiků volí vyhazování pomocí *stíracích desek, stíracího kroužku nebo trubkového vyhazováku*.
- U hlubokých výstřiků se k vyhazování využívá *stlačený vzduch*.
- U řady výstřiků je kvůli komplikovanému tvaru nutné volit speciální uspořádání formy. K těmto formám patří například *čelistová forma*, která je využívána, když je lisován vnější závit.
- Kromě výlisků se musí dbát i na vyhození (vytáhnutí) vtoku a rozvodných kanálků.

Vyhazovací síly a jejich výpočet je odvozen od měrných tlaků mezi výstřikem a formou, dále od rozměru výstřiku a také od teplotní závislosti koeficientu tření mezi plochy.

### 3.8 Odvzdušnění forem [20,23,25]

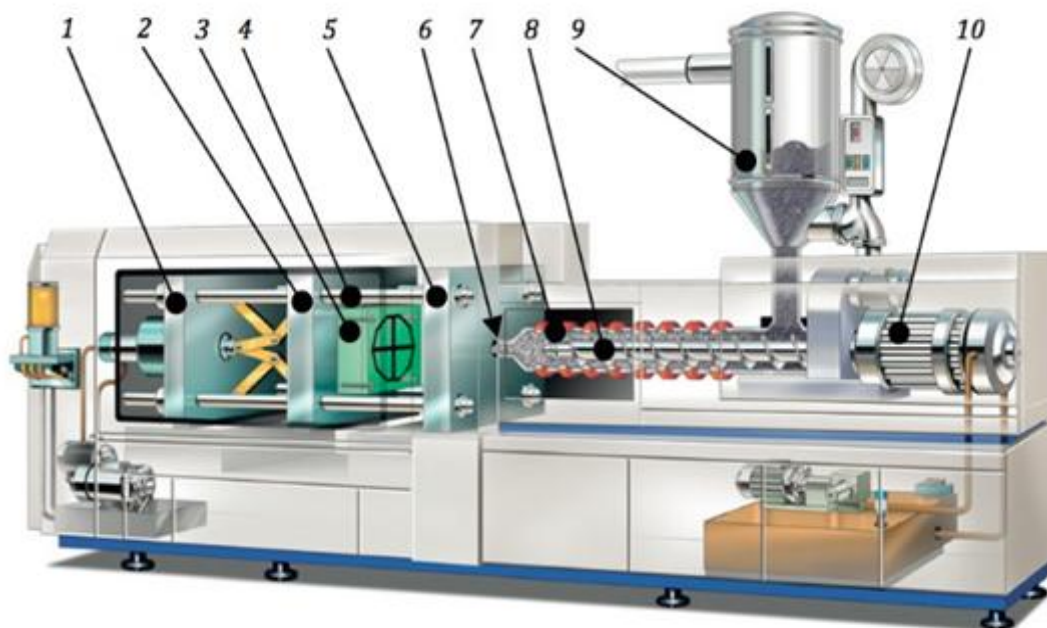
Při vstřikování taveniny do formy se musí dbát na dostatečný odvod vzduchu, který je v tavenině obsažen. Odvzdušnění u formy je velmi důležité, jelikož doba výstřiku je velmi krátká a při nedokonalém odvzdušnění může docházet například: a) k nedokonalému vyplnění tvarové dutiny (vznik bublin, nedostříknutí plastu, atd.) b) k poklesu pevnosti v místech kde jsou studené spoje c) k nebezpečnému zvýšení tlaku d) k takzvanému diesel efektů, který má za následek zažehnutí a degradaci plastu (většinou při větších tloušťkách stěn).

Proto se musí zajistit intenzivní odvod vzduchu z formy, a to nejen pomocí netěsností v dělicí rovině, ale také konstruováním odvzdušňovacích kanálků, které ovšem nemohou být příčinou vzniku otřepů na výstřiku. Odvzdušnění by se mělo provádět v dělicí rovině na protilehlém místě od vtoku. Může být provedeno pomocí otvorů, vložek nebo trnů. Odvzdušňovací kanály bývají rozmístěné v intervalech kolem 2 až 4 cm po obvodu výstřiku. Bývají 0,002 až 0,005 mm tlusté a cca 6 mm široké. Dalším způsobem jak z formy dostat stlačený vzduch je pootevření formy. Toto pootevření probíhá po naplnění dutiny na 80 – 95 % a to o 0,1 až 0,2 mm. Při tomto zdvihu dojde k odvzdušnění a poté se forma opět zavře. Tohoto způsobu se využívá především u reaktoplastů.

### 3.9 Vstřikovací stroje [15,21]

Proces vstřikování probíhá u většiny moderních vstřikovacích strojů plně automaticky. Pořizovací ceny vstřikovacích strojů jsou vysoké, a proto je tato technologie vhodná pro velkosériovou výrobu. Vstřikovací stroj je složen ze tří částí a to ze vstřikovací jednotky, uzavírací jednotky a z řízení a regulace, viz obr. 34. Vstřikovací stroje mohou být také od výrobce vybaveny tak, aby plnily funkci automatizovaného pracoviště. Dovybavit vstřikovací stroje můžeme například manipulátory, sušičkami, dopravníky, dávkovacím a mísícím zařízením atd.





1 – uzavírací jednotka, 2 – pohyblivá upínací deska vstříkolisu, 3 – pohyblivá část vstříkovací formy, 4 – vodící sloupky vstříkolisu, 5 – pevná upínací deska vstříkolisu, 6 – čelo špičky vstříkovací trysky vstříkolisu, 7 – tavicí komora, 8 – šnek, 9 – násypka pro plastový polotovar, 10 – pohonná jednotka šneku

Obr. 34 Vstříkovací stroj [5]

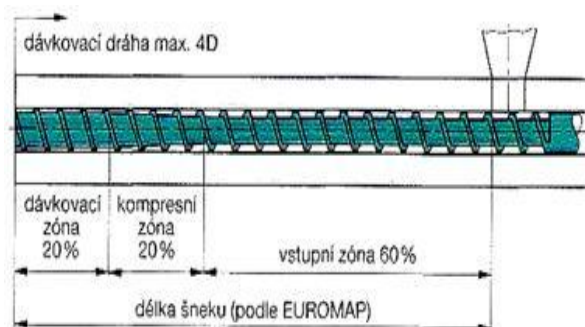
### 3.9.1 Vstříkovací jednotka [12,21]

Hlavními úkoly vstříkovací jednotky je přeměna granulátu na homogenní taveninu o zadané viskozitě a vstříkování vysokou rychlostí a velkým tlakem do dutiny formy. První vstříkovací jednotky, které sloužily ke vstříkování plastů, byly pístové. Tyto jednotky ovšem byly postupem času vytlačeny jednotkami šnekovými. Šnekové jednotky mají mnoho výhod a to například:

- a) zaručují spolehlivou plastifikaci a následnou kvalitní homogenizaci roztaveného plastu
- b) zabráňují, aby se plast v tavicí komoře přehříval
- c) zaručují vysoký plastikační výkon a velký zdvihový objem, takže velikost výstřiku lze libovolně zvyšovat
- d) odpadají problémy s čistěním komory během výměny materiálu
- e) zaručují přesné dávkování hmoty
- f) vyšší účinnost zásahu do vstříkovacího procesu a to například řízením dotlaku

Nejdůležitější částí vstříkovací jednotky je šnek. Šnek si při otáčení odebírá z násypky připravený materiál, dopravuje ho do vytápěcí části, kde plast taje a je dále hněten a homogenizován. Šnek se nejen točí kolem své osy, ale může se i axiálně posouvat dopředu a dozadu. Pohyb dozadu koná šnek při plastifikaci, naopak dopředu se pohybuje při vstříkování taveniny do formy, kdy se zpravidla neotáčí a funguje vlastně jako píst.

Vývojem se dospělo od obyčejného šneku ke šneku diferenciálnímu, viz obr. 35. Pro tento druh šneku je charakteristický tzv. kompresní poměr, který je definován jako poměr objemu drážky šnekového profilu pro jedno stoupání pod násypkou k objemu drážky v části šneku u trysky. Tento kompresní poměr bývá v rozmezí od 1,5 do 4,5. Kompresního poměru můžeme dosáhnout buď změnou úhlu stoupání závitu (to se ovšem kvůli obtížnější výrobě používá zřídka kdy) nebo změnou průměru jádra šneku, přičemž úhel stoupání je konstantní.



Obr. 35 Diferenciální šnek [6]

Na šneku se rozlišují tři funkční pásma:

- *Vstupní neboli dopravní pásmo* je pod násypkou. V tomto pásmu je drážka šneku nejhlubší a průměr jádra je zde nejmenší. Materiál je v tomto pásmu stlačován, čímž dochází k vytěsňování vzduchu z prostoru mezi granulemi. Poté je zahříván a na konci této části může začít i tát.
- Druhým pásmem je *pásmo kompresní neboli přechodové*. Průměr šneku směrem k trysce se zvětšuje a zároveň hloubka drážky se zmenšuje. V tomto pásmu dochází k nejintenzivnějšímu tání granulí. Tavenina, která zde vzniká je ovšem ještě nehomogenizovaná.
- Třetím pásmem je *pásmo výstupní neboli homogenizační*.



## 4 NÁVRH VSTŘIKOVACÍ FORMY

Správný návrh formy je zásadní pro zhotovení požadovaných výstřiků. Prvním a velmi důležitým krokem při návrhu formy je volba správného materiálu pro vstřikování, na základě této volby jsou provedeny technologické výpočty, které jsou nutné ke správné volbě vstřikovacího stroje. Po výpočtech následuje konstrukční návrh formy, který ve většině případů lze řešit několika různými způsoby. Je ovšem nutné dbát na to, aby byly splněny všechny konstrukční požadavky a také požadavky na daný výstřik. Neméně důležitým faktorem při konstrukčním návrhu je i vysoká produktivita výroby, která lze ovlivnit například vhodně zvolenou násobností a také vhodně zvoleným temperačním systémem, který zkrátí nejdelší čas vstřikovacího cyklu, kterým je doba chlazení.

### 4.1 Volba materiálu výstřiku

Vhodná volba materiálu je nezbytná z hlediska užitných vlastností. Vzhledem k tomu, že se jedná o dílec, který bude v přímém kontaktu s teplou a studenou vodou, je zde kladeno několik důležitých požadavků. Dalším důležitým faktorem při výběru materiálu je i to, že se jedná o závitovou součást. Tyto dva faktory je nutné správně skloubit a vybrat materiál, který bude jednak vyhovovat požadavkům, které jsou kladeny na závitové spoje a jednak požadavkům, které jsou nezbytné při kontaktu s vodou.

#### ➤ Požadavky na materiál

- Dobrá odolnost vůči chemikáliím
- Hygienická nezávadnost
- Nízká nasákavost
- Dobrá odolnost vůči teplé vodě
- Odolnost vůči tlaku
- Trvanlivost
- Pevnost
- Houževnatost
- Rozměrová stabilita

K těmto účelům se nejčastěji volí ze tří druhů plastů, kterými jsou polyvinylchlorid, polypropylen a polyetylen.

Polyethylen se využívá pro rozvody vody v zesíťované struktuře, přičemž nevýhodou tohoto materiálu je především jeho vysoká cena, proto v tomto případě není ideální volbou.

Použití polyvinylchloridu pro rozvod vody není v dnešní době ještě příliš běžný. Tento materiál se většinou spojuje lepením.

V případě závitové součásti, která přijde do kontaktu i s teplou vodou je tedy nejlepší volbou polypropylen, který je momentálně nejpoužívanějším materiálem pro rozvody teplé i studené vody

➤ Daplen KS 101

Pro danou vstřikovanou součástku byl vybrán materiál od výrobce PCD s obchodním názvem Daplen KS 101. V tabulce č. 1 jsou uvedené hodnoty daného materiálu

Tab.1 Základní vlastnosti materiálu Daplen KS 101

Vlastnosti materiálu Daplen KS 101			
Parametry	Označení	Jednotky	Hodnota
Hustota při 23 °C	$\rho$	$\text{g/cm}^3$	0,905
Teplota měknutí dle Vicata		°C	84
Viskozita při smyk. rychlosti $1000 \text{ s}^{-1}$	$\eta$	Pa.s	111
a při teplotě materiálu (taveniny)		°C	230
Faktor schopnosti tečení	$K_f$	bar/mm	1,6
Koeficient dráhy toku	M		130
Exponent rovnice dráhy toku	N		1,75
Teplota materiálu (taveniny)	$T_M$	°C	200-280
Teplota formy	$T_F$	°C	30-50
Teplota odformování	$T_E$	°C	80
Max. obvodová rychlost šneku	v	m/s	0,3
Faktor navýšení objemu taveniny	$K_a$	$\text{g/cm}^3$	0,77
Efektivní teplotní vodivost	$a_{\text{eff}}$	$\text{mm}^2/\text{s}$	0,067
Rozdíl entalpií	$\Delta h$	kJ/kg	520
Smrštění rovnoběžné nebo kolmé ke směru tečení		%	1,2 / 1,3
Absorbce vlhkosti		%	< 0,1

## 4.2 Výpočet technologických parametrů [10,20]

Ke správné volbě vstřikovacího stroje je nejprve nutné znát několik důležitých technologických parametrů, vycházejících ze zvoleného materiálu či z rozměrů výstřiku.

### 1) Objem plastového výstřiku $v[\text{cm}^3]$

$$V = 13,47 \text{ cm}^3$$

Objem byl zjištěn v softwaru Catia V5R20

### 2) Výpočet hmotnosti plastového výstřiku $G[\text{g}]$

$$G = V \cdot \rho \tag{4.1}$$

$$G = 13,47 \cdot 0,905$$

$$G = 12,19 \text{ g}$$

3) Délka dráhy toku taveniny  $f_c$  [mm]

$$f_c = 234,7 \text{ mm}$$

Maximální délka dráhy toku taveniny byla zjištěna v softwaru Catia V5R20

4) Výpočet velikosti dávky taveniny  $V_D$  [cm<sup>3</sup>]

$$V_D = \frac{(n_t \cdot V + V_k) \cdot \rho}{K_a} \quad (4.2)$$

$$V_D = \frac{(6 \cdot 13,47 + 10,39) \cdot 0,905}{0,77}$$

$$V_D = 107,2 \text{ cm}^3$$

kde:  $n_t$  – termínová násobnost formy [-] (vzorec 4.16)

$V_k$  – objem rozváděcích kanálků [cm<sup>3</sup>] (zjištěn v softwaru Catia V5R20)

5) Výpočet minimálního plnicího tlaku  $p_f$  [bar]

$$p_f = 3,25 \cdot K_f \cdot f_c \cdot s^{-1,6} \quad (4.3)$$

$$p_f = 3,25 \cdot 1,6 \cdot 234,7 \cdot 5^{-1,6}$$

$$p_f = 92,93 \text{ bar}$$

kde:  $s$  – střední tloušťka dílce [mm]

6) Určení vstřikovacího tlaku  $p_v$  [bar]

$$p_v = 800 - 1400 \Rightarrow \text{vstřikovací tlak byl zvolen } 1000 \text{ bar}$$

Rozsah doporučených vstřikovacích tlaků pro materiál PP byl převzat z tabulky v příloze č. 2. Zvolený tlak musí být vyšší než minimální plnicí tlak vypočítaný ve vztahu 3.5. Tato podmínka byla splněna.

7) Určení tvářecího tlaku  $p_a$  [bar]

$$p_a = \frac{p_v}{2} + 100 \quad (4.4)$$

$$p_a = \frac{1000}{2} + 100$$

$$p_a = 600 \text{ bar}$$

Vzorec 4.4 je spíše orientační, nicméně vypočítaný tlak 600 barů je v rozmezí tvářecích tlaků pro PP, který je v příloze 1.

8) Určení plochy průmětu tvarové dutiny do dělicí roviny  $A_D$  [cm<sup>2</sup>]

$$A_D = 74,56 \text{ cm}^2$$

Tato plocha byla určena v softwaru Catia V5R20

9) Výpočet přídržovací síly  $F_p$  [kN]

$$F_p = A_D \cdot \frac{P_A + 100}{100} \quad (4.5)$$

$$F_p = 74,56 \cdot \frac{600 + 100}{100}$$

$$F_p = 522 \text{ kN}$$

10) Určení doby vstřikování  $t_v$  [s]

Doba vstřikování  $t_v$  se určí podle množství vstřikovaného objemu a viskozity materiálu, dle níže uvedené tabulky 2. Materiál výstřiku je polypropylen, což je nízkoviskozní materiál a objem výstřiku je v rozmezí od 80 do 120 cm<sup>3</sup> (objem rozváděcích kanálků + 6xkrát objem součástí)

$$t_v = 1,2 - 1,8 \text{ s} \Rightarrow \text{volím } t_v = 1,5 \text{ s}$$

Tab. 2 Závislost doby vstřikování na vstřikovaném objemu [10]

Vstřikovaný Objem [cm <sup>3</sup> ] Před - do	Doba vstřikování [s]		
	Nízkoviskozní materiál	Středněviskozní materiál	Vysokoviskozní materiál
1 - 8	0,2 - 0,4	0,25 - 0,5	0,3 - 0,6
8 - 15	0,4 - 0,5	0,5 - 0,6	0,6 - 0,75
15 - 30	0,5 - 0,6	0,6 - 0,75	0,75 - 0,9
30 - 50	0,6 - 0,8	0,75 - 1,0	0,9 - 1,2
50 - 80	0,8 - 1,2	1,0 - 1,5	1,2 - 1,8
80 - 120	1,2 - 1,8	1,5 - 2,2	1,8 - 2,7
120 - 180	1,8 - 2,6	2,2 - 3,2	2,7 - 4,0
180 - 250	2,6 - 3,6	3,2 - 4,5	4,0 - 5,5
250 - 500	3,6 - 4,8	4,5 - 6,0	5,5 - 7,5
500 - 800	4,8 - 6,2	6,0 - 8,0	7,5 - 10,0

11) Určení doby chlazení  $t_{chl}$  [s]

$$t_{chl} = \frac{s^2}{\pi^2 \cdot a_{eff}} \cdot \ln \left( \frac{8}{\pi^2} \cdot \frac{T_M - T_F}{T_E - T_F} \right) \quad (4.6)$$

$$t_{chl} = \frac{5^2}{\pi^2 \cdot 0,067} \cdot \ln \left( \frac{8}{\pi^2} \cdot \frac{240 - 40}{80 - 40} \right)$$

$$t_{chl} = 52,9 \text{ s}$$

kde:  $a_{eff}$  – efektivní teplotní vodivost (tab.1) [mm<sup>2</sup>/s]

$T_M$  – teplota materiálu (tab.1) [ °C]

$T_F$  – teplota formy (tab.1) [ °C]

$T_E$  – teplota odformování (tab.1) [ °C]

12) Výpočet doby vstřikovacího cyklu  $t_c$  [s]

Doba vstřikovacího cyklu je složena nejen z doby vstřikování a chladnutí výstřiku, ale i z dalších časů, které jsou potřebné k uzavření formy a odformování.

$$t_c = t_1 + t_2 + t_v + t_{chl} + t_3 + t_4 \quad (4.7)$$

$$t_c = 1 + 0,5 + 1,5 + 52,9 + 1,5 + 0,5$$

$$t_c = 57,9 \text{ s}$$

kde:  $t_1$  [s] – doba na uzavření formy 1 až 1,5 s

$t_2$  [s] – doba na přisunutí vstřikovací jednotky 0,5 s

$t_3$  [s] – doba na otevření a vyhození výstřiku 1 až 1,5 s

$t_4$  [s] – prodleva 0,5

13) Výpočet minimální vstřikovací kapacity stroje  $C_v$  [cm<sup>3</sup>]

$$C_v \geq 1,1 \cdot (n_T \cdot V + V_K) \quad (4.8)$$

$$C_v \geq 1,1 \cdot (6 \cdot 13,47 + 10,39)$$

$$C_v \geq 100,33 \text{ cm}^3 = 110 \text{ cm}^3$$

14) Výpočet minimální plastikační kapacity vstřikovacího stroje  $C_P$  [kg/hod]

$$C_P \geq \frac{4 \cdot \rho \cdot (n_T \cdot V + V_K)}{t_c} \quad (4.9)$$

$$C_P \geq \frac{4 \cdot 0,905 \cdot (6 \cdot 13,47 + 10,39)}{57,9}$$

$$C_P \geq 5,71 \text{ kg/hod}$$

15) Stanovení optimálního průměru šneku  $D_S$  [mm]

Průměr šneku se volí z řady normalizovaných průměrů:

20,25,30,35,40,45,50,55,60,70,80,90 mm.

Průměr šneku je volen na základě podmínky:

$$7,5 \cdot \sqrt[3]{V_d} < D_S < 10,5 \cdot \sqrt[3]{V_d} \quad (4.10)$$

$$7,5 \cdot \sqrt[3]{107,2} < D_S < 10,5 \cdot \sqrt[3]{107,2}$$

$$35,62 < D_S < 49,87$$

$$D_S = 45 \text{ mm}$$

16) Stanovení délky dráhy pohybu šneku  $L_S$  [mm] pro vstřikování dávky  $V_d$

$$V_d = \frac{\pi \cdot D_S}{4 \cdot 10^3} \cdot L_S \quad (4.11)$$

Z tohoto vztahu lze odvodit vztah pro délku dráhy šneku:

$$L_S = 1273 \cdot \frac{V_d}{D_S^2}$$

$$L_S = 1273 \cdot \frac{107,2}{45^2}$$

$$L_S = 67,4 \text{ mm}$$

Přitom musí být splněna podmínka:

$$1D_S < 67,4 < 3D_S$$

$$45 < 67,4 < 135$$

17) Určení otáček šneku při plastikaci  $n_S$  [min<sup>-1</sup>]

$$n_S = \frac{60 \cdot 10^3 \cdot v}{\pi \cdot D_S} \quad (4.12)$$

$$n_S = \frac{60 \cdot 10^3 \cdot 0,3}{\pi \cdot 45}$$

$$n_S = 127,3 \text{ min}^{-1}$$

18) Výpočet vstřikovací rychlosti  $v_s$  [cm<sup>3</sup>/s]

$$v_s = \frac{V_d}{t_v} \quad (4.13)$$

$$v_s = \frac{107,2}{1,5}$$

$$v_s = 71,5 \text{ cm}^3/\text{s}$$

19) Výpočet průchodu taveniny ze stroje do formy  $G$  [kg/h]

$$G = \frac{3,6 \cdot V_d \cdot \rho}{t_c} \quad (4.14)$$

$$G = \frac{3,6 \cdot 107,2 \cdot 0,905}{57,9}$$

$$G = 6,03 \text{ kg/h}$$

20) Výpočet tepla vneseného taveninou do formy  $Q$  [kJ/hod]

$$Q = G \cdot \Delta h \quad (4.15)$$

$$Q = 6,03 \cdot 520$$

$$Q = 3153,6 \text{ kJ/hod}$$

### 4.3 Konstrukční řešení [21]

V kapitole 1.1 Výrobní možnosti, bylo určeno, že zadaná součást se bude vyrábět technologií vstřikování

Zadaný díl obsahuje ve své horní části vnější závit. Pro tuto variantu výstřiků byla zvažována dvě různá řešení:

#### a) Čelistová forma

Tento druh formy je složen ze dvou čelistí, které se svírají kolem tvárníků. Pohyb čelistí se ve většině případů řeší pomocí šikmých kolíků. V případě, že je závit kolmý na dělicí rovinu, bývají závity vyhotoveny ve dvoudílných pohyblivých čelistech.

#### b) Vytáčecí závitové trny

Pro sériovou výrobu výstřiků s vnitřními či vnějšími závity lze použít formu s vytáčecími závitovými trny. Z této formy se rotačním pohybem vyšroubují hotové výstřiky. Závitové trny se otáčejí vlivem ozubených kol, které bývají uvedeny do pohybu náhonovými mechanismy, jako je například speciální šroub s maticí, ozubená tyč s ozubeným kolem či elektromotor s převody.

Z těchto dvou variant byla zvolena forma čelistová a to z důvodu jednoduššího řešení formy oproti formě s vytáčecími závitovými trny. Varianta s trny by vyžadovala přídavné zařízení, které by zvýšilo celkovou cenu formy.

#### 4.3.1 Určení násobnosti formy a volba vtokové soustavy [10]

Násobnost formy lze určit na základě několika údajů:

- Vstřikovací kapacity stroje
- Plastikační kapacity a vstřikovacího cyklu stroje
- Přidržovací síly stroje
- Požadovaného množství výrobků a termínu jejich dodání
- Praktická násobnost (graf závislosti počtu kusů na násobnosti)

V tomto případě se násobnost zvolí dle požadovaného množství výrobků a termínu jejich dodání, jelikož vstřikovací stroj bude volený až na základě požadavků.

Výrobní série v tomto případě činí 250 000 kusů a zvolený termín dodání je 2 měsíce.

- Výpočet termínové násobnosti  $n_T$  [-]

$$n_T = \frac{N \cdot t_c}{\tau_p \cdot K \cdot 3600} = \frac{250000 \cdot 57,9}{1032 \cdot 0,8 \cdot 3600} = 4,87 \quad (4.16)$$

kde:  $N$  – velikost výrobní série [ks]

$\tau_p$  – požadovaný termín na splnění dodávky [hod]

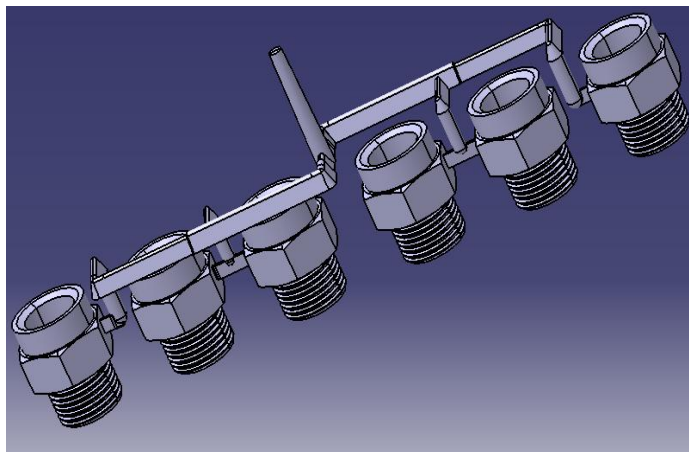
(60 dní = 43 pracovních dní, 3směnný 8 hodinový provoz = 1032 hodin)

$K$  – faktor využití pracovního času (0,7 až 0,9 => zvoleno 0,8) [-]

Dle výpočtů byla forma volena jako šestinásobná, jelikož sudý počet je pro konstrukci výhodnější než lichý. Vícenásobná forma je vzhledem k malým rozměrům zadané součásti žádoucí. Na obr.36 lze vidět navržené rozvržení pro požadovanou násobnost.

Vtokový systém byl zvolený studený, jelikož se jedná o součást, u které není důležitá pohledová část a počáteční investice společně s dobou rozjezdu výroby jsou u této vtokové soustavy nižší. Další výhodou jsou nízké náklady na údržbu. Pokud by výrobní série byla vyšší než zmiňovaných 250 000 kusů musela by se zvážet horká vtoková soustava z důvodu nižší spotřeby materiálu.

Vzhledem k tomu, že se jedná o nesymetrické rozvržení, musí se v tomto případě velikost rozváděcích kanálků pro poslední součást na každé straně zmenšit. Hlavní vtokový kanál je umístěn ve vtokové vložce a jeho průměr je ve vrchní části menší než ve spodní z důvodu snadného odformování.



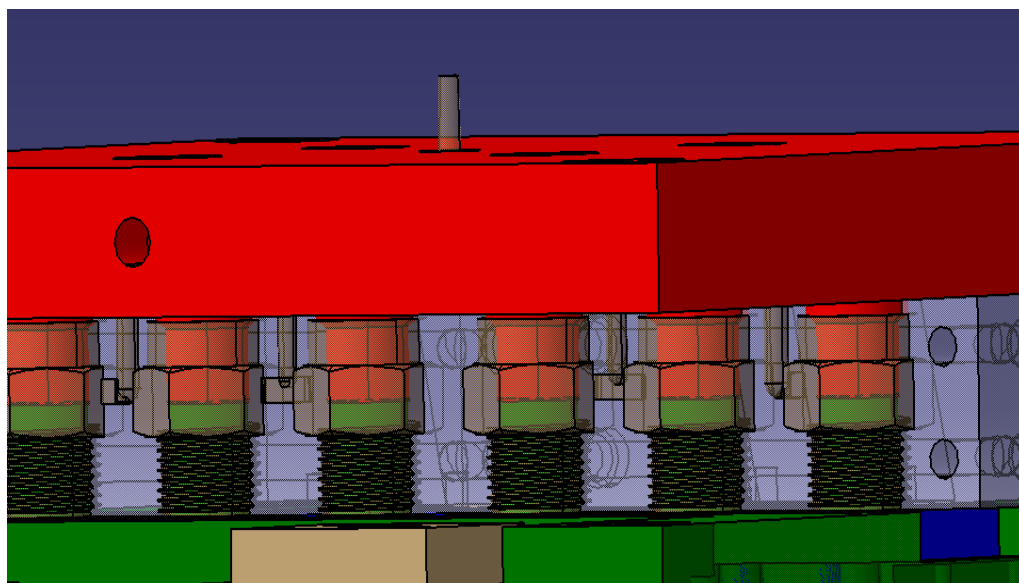
Obr. 36 Navržené rozmístění pro 6 násobnou formu

Vtokové ústí bylo na základě zásad umístěno do nejtlustšího místa stěny výstřiku, jelikož tavenina by měla téct z místa většího průřezu do místa menšího průřezu. Vtok byl vybrán boční. Při umisťování vtokového ústí bylo také dbáno na to, aby vtok byl ve středu dutiny a ta se tak zaplňovala taveninou rovnoměrně.

#### 4.3.2 Zaformování a určení dělicích rovin

Pro zadanou součást bylo zvolené zaformování pomocí dvou čelistí, které se sevřou kolem horního a spodního jádra, jak to lze vidět na obrázku č. 37. Spodní jádro (zelená barva) je umístěno ve vodící desce a horní jádro (červená barva) je umístěné v přídržovací desce. Pomocí čelistí se vytvoří vnější požadovaný tvar a pomocí dvou jader díra uprostřed součásti, přičemž průměr červeného jádra je volený o 1 mm větší než průměr modrého jádra. Důvodem je osazení uvnitř součásti. Z tohoto důvodu nelze umístit jádro pouze do vodící desky, jelikož by zadaný dílec nešel z formy vyndat.





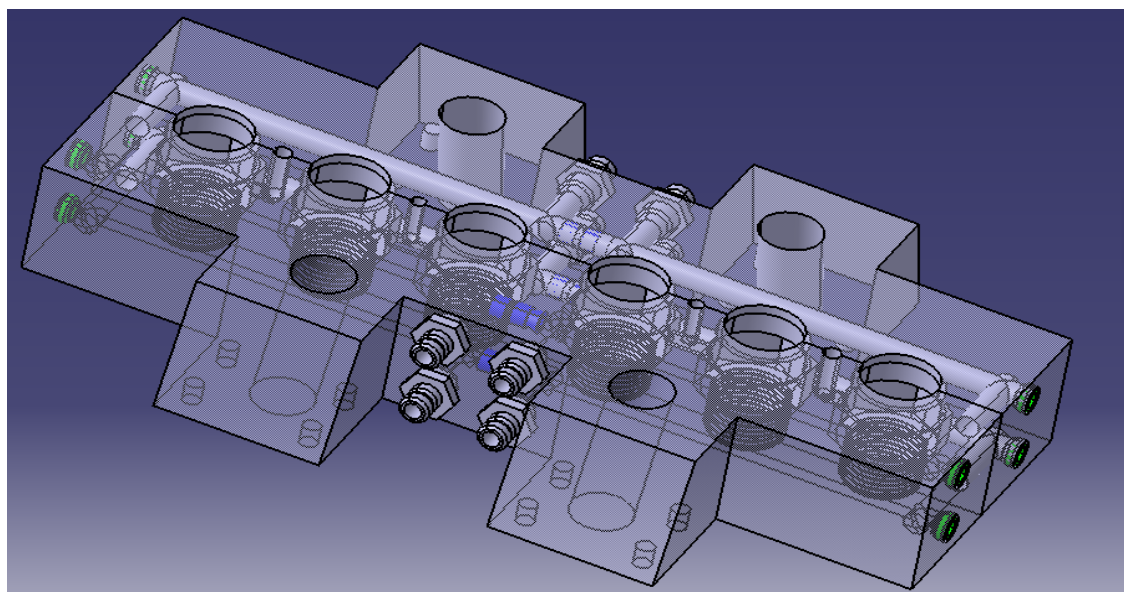
Obr. 37 Zaformování součástí

#### 4.3.3 Temperační systém

Temperační systémy byly navrženy v místech, kde je nejnútnejší odvod tepla pro správné chlazení výstřiku. Těmito místy jsou čelisti a spodní tvárník, který je umístěn ve vodící desce.

- Temperace čelistí

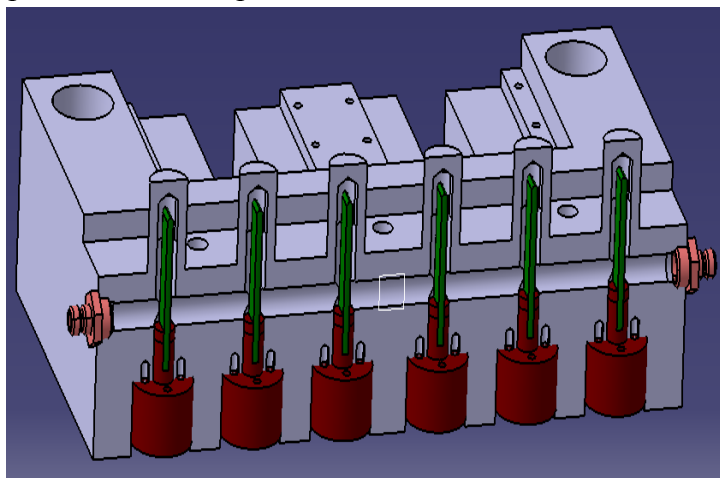
Minimální průměr temperačních kanálků by měl být alespoň 6 mm, přičemž zde bylo zvoleno 8 mm. Navrhnutý temperační systém je na obrázku 38. Na tomto obrázku lze vidět, že na temperaci čelistí byly zvoleny dohromady 4 temperační okruhy, ve kterých bylo k usměrnění toku temperační kapaliny využito zátek se závitem (zelenou barvou), zátek s rozpěrným kroužkem (modrou barvou) a nátrubků. Temperační okruhy by v tomto návrhu mohli být eliminovány na 2 a to v případě, že by došlo k propojení dvou sousedních nátrubků. Varianta se čtyřmi temperačními okruhy ovšem byla volena na základě lepší regulovatelnosti tlaků, jelikož tlak temperační kapaliny má v tomto případě velký vliv na dobu chlazení výstřiku.



Obr. 38 Temperační okruhy v čelistech

- Temperace tvárníku

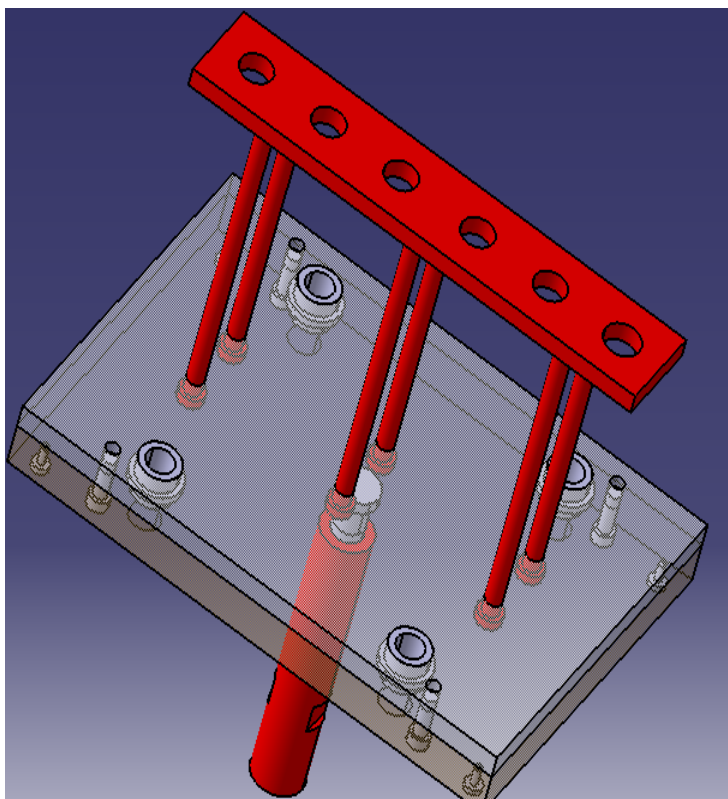
Zde byl zvolen pouze jeden temperační okruh s průměrem kanálku 10 mm. Tvárník byl v tomto případě temperován pomocí plochých přepážek v tvárníku, jak lze vidět na obrázku 39. Při tomto chlazení je nutné dbát na dostatečný tlak chladicí kapaliny, tak aby došlo k překonání přepážek. Tento způsob temperace byl volen s ohledem na malé parametry výstřiku.



Obr. 39 Temperace tvárníků pomocí přepážek

#### 4.3.4 Vyhazovací systém

V momentě kdy se forma otevře, přichází na řadu odformování součástí. Vyhazovací systém byl řešen pomocí stírací desky, jak lze vidět na obrázku číslo 40. Stírací deska je



umístěna na pohyblivé straně formy, přičemž je v kontaktu se spodní stranou výstřiků. Výhodou tohoto řešení je, že při vyhazování působí stírací deska na výstřik rovnoměrně a nedochází tudíž k žádným deformacím. Ve stírací desce musí být i 6 otvorů o velikosti 19 mm a to z důvodu přítomnosti spodního jádra. Tato deska je zabudována do hlavní vyhazovací desky, která je následně spojena čtyřmi šrouby k pomocné vyhazovací desce. Pohyb celého vyhazovacího systému je následně veden pomocí vyhazovací tyče, která je upevněna k vyhazovacímu mechanismu v hydraulickém vstřikovacím lisu.

Obr. 40 Vyhazovací systém

Šířka desky byla určena na základě maximálního rozevření čelistí. Maximální rozevření bylo vypočítáno na základě požadovaného otevření formy a úhlu, který tento kolík svírá.

$$X = \tan \alpha \cdot L = \tan 18^\circ \cdot 85 = 27,62 \text{ cm} \quad (4.17)$$

kde:  $\alpha$  – úhel který svírá šikmý kolík s osou pohybu [°]

$L$  – velikost otevření formy [mm]

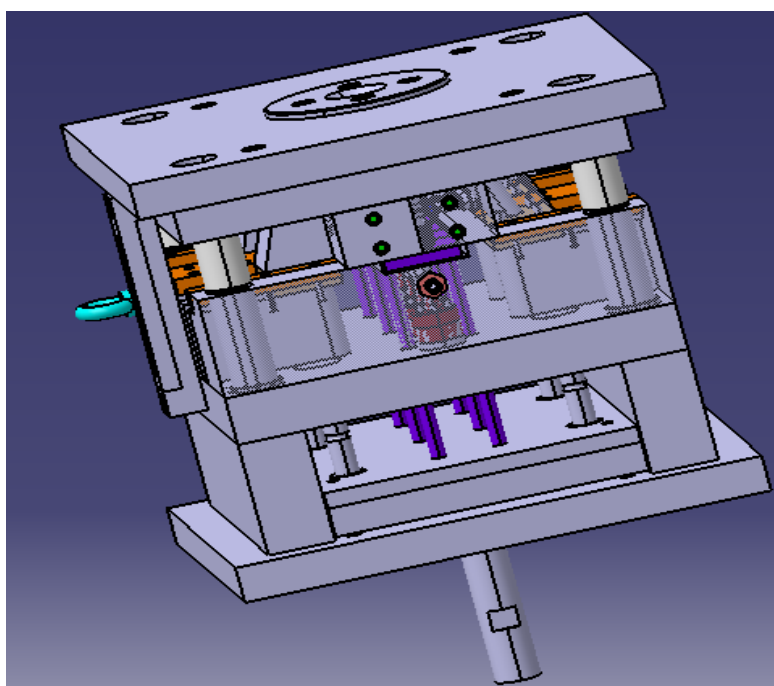
$X$  – velikost rozevření čelistí [mm]

Pomocí tohoto výpočtu jsme tedy zjistili, že při požadovaném zdvihu 85 mm se jedna čelist posune o 27,62 mm, to samé samozřejmě platí i pro čelist na druhé straně, takže vzdálenost mezi čelistmi bude přes 55 mm. Z tohoto důvodu byla zvolena stírací lišta o šířce 50mm.

#### 4.3.5 Pohyb formy

- Forma v základní poloze

V poloze, kterou můžete vidět na obrázku 41. Dochází ke vstřikování a následnému tuhnutí plastu.

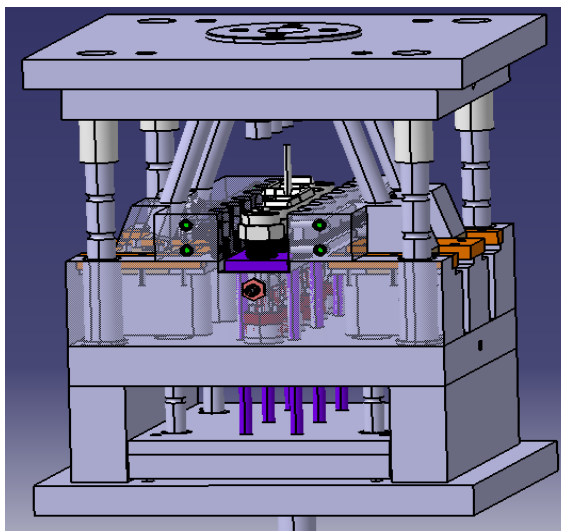


Obr 41 Základní poloha formy

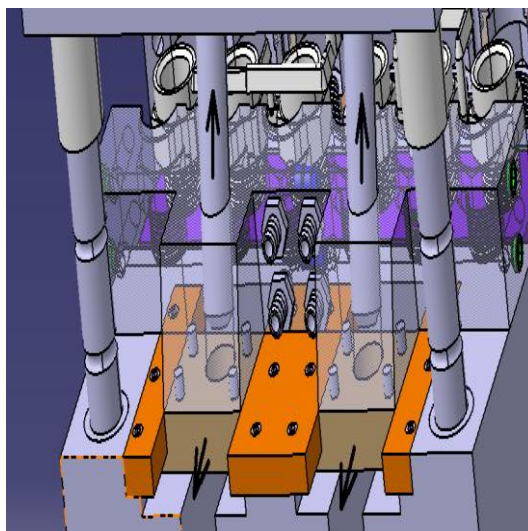
- Otevření formy

Na obr. 43 lze vidět otevřenou vstřikovací formu. K tomuto otevření dochází díky vodícím kolíkům, které jsou uzavřené ve vodícím pouzdře. Se současným zdvihem formy dochází i k rozevírání čelistí. K tomuto rozevírání působí díky působení šikmých kolíků, které působí na díru v čelistech. Tyto šikmé kolíky jsou vedené pod úhlem 18°. Pohyb čelistí je znázorněn na obrázku 42, kde lze vidět, že při pohybu

šikmých kolíků směrem nahoru, dochází ke zmiňovanému rozevírání, které je nezbytné k bezproblémovému vyhození výstřiků. Pohyb čelistí je umožněn díky pojezdu, který je přišroubovaný na spodní stranu čelistí a je umístěný ve vodících lištách, které umožňují pouze jeden stupeň volnosti.

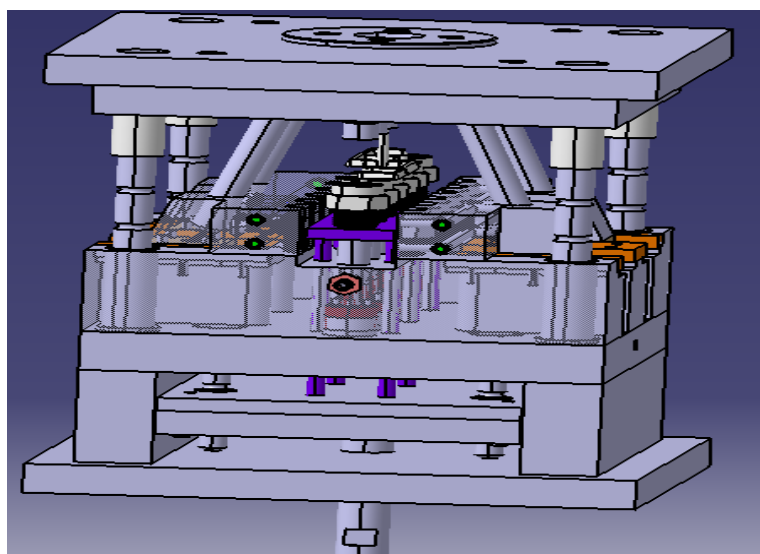


Obr. 43 Otevření formy



Obr. 42 Pohyb čelistí pomocí šikmých kolíků

- Vyhození výstřiku z otevřené formy  
V momentě, kdy je zastaven pohyb vodících kolíků, dává se do pohybu vyhazovací systém, viz obr. 44. Tento systém je vedený vyhazovací tyčí, která je upnuta k vyhazovacímu mechanismu v hydraulickém vstřikovacím lisu. Výstřik je poté odebrán obsluhou a celý proces se opakuje. V případě, že by se jednalo o plně automatizovanou výrobu, muselo by se přidat přídavné zařízení, které by tyto výstřiky odebíralo.

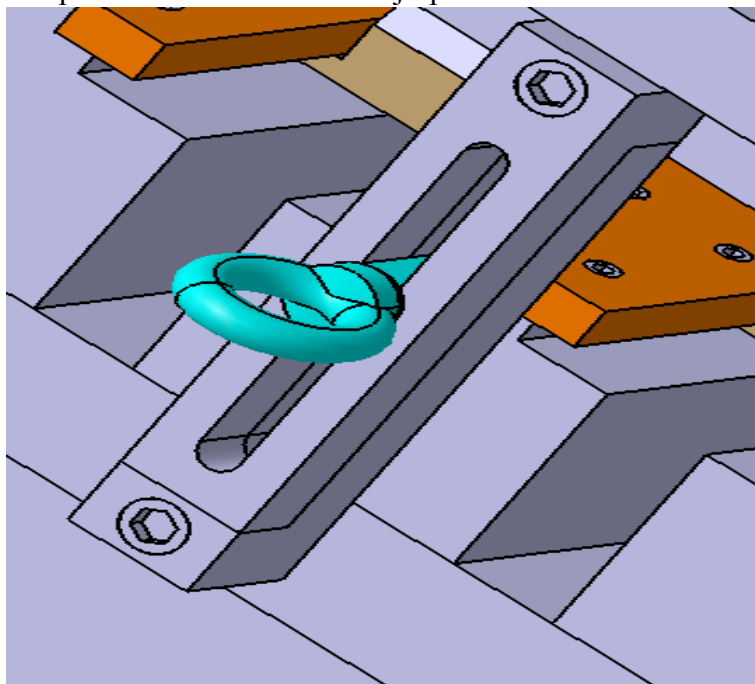


Obr. 44 Vyhození výstřiku



#### 4.3.6 Manipulační prvek [17]

Hmotnost a rozměry celé formy jsou vcelku velké, proto je nutné dbát i na manipulaci s touto vstřikovací formou. K manipulaci pomocí jeřábu byl zvolen transportní můstek s okem, který je znázorněn na obrázku 45. Mezi výhody transportního můstku patří i to, že zabraňuje otevření formy během manipulace a zároveň umožňuje polohování oka do těžiště formy. Celková hmotnost formy byla stanovena podle 3D modelu v programu Catia přibližně na 195 kg. Na základě tohoto údaje byl zvolen transportní můstek od firmy Meusburger s nosností 230 kg.



Obr. 45 Manipulační prvek

#### 4.3.7 Materiál formy [17,18]

Na jednotlivé desky jsou kladeny různé požadavky, proto se výběr materiálu liší. V tomto případě byl materiál volen s ohledem na katalog firmy Meusburger. Přehled materiálů pro vybrané části formy je uveden v tabulce číslo 3.

Tab. 3 Seznam materiálů jednotlivých částí vstřikovací formy

Materiály pro vybrané části formy			
Část formy	Materiál	Část formy	Materiál
Upínací deska	1.2312	Podpěrná deska	1.2312
Hlavní a pomocná vyhazovací deska	1.2312	Vodící a šikmé kolíky	1.7131
Čelisti	1.2311	Přidržovací deska	1.2132
Vodící deska	1.2312	Rozpěra	1.2085

- 1.2312 (40CrMnMoS8-6, 19 520+S)

Zušlechtěná ocel, která je legovaná Cr-Mn-Mo a obsahuje síru, zaručuje výbornou obrobiteľnosť i ve zušlechtěném stavu. Mezi další vlastnosti této oceli patří výborná houževnatost, rozměrová stálost a zároveň dobrou obrobiteľnosť a erodovatelnost.

- 1.2311 (40CrMnMo7, 19520)

Ocel s podobnými vlastnostmi jako předchozí 1.2312, ovšem s nižším obsahem síry a horší obrobiteľností. Ocel je dodávaná v zušlechtěném stavu a tepelné zpracování se využívá jen ve výjimečných případech.

- 1.2085 (X33CrS16)

Jedná se o zušlechtěnou martenzitickou chromovou ocel s vysokou korozní odolností, rovnoměrnou pevností v celém průřezu, odolností proti mechanickému poškození a dobrou obrobiteľností. Tato ocel je dodávaná v zušlechtěném stavu a není potřeba dále tepelně zpracovávat.

- 1.7131 (16MnCr5, 14 220)

Ušlechtilá konstrukční ocel, která je legovaná Mn a Cr. Tato ocel je určena pro další chemicko tepelné zpracování jako je cementování, nitridování či nitrocementování. Ocel vykazuje dobrou svařitelnost, obrobiteľnosť a je dobře tvářitelná za tepla. Tento materiál je vhodný na šikmé a vodící kolíky, jelikož má vysokou odolnost proti opotřebení (po cementačním kalení) a vysokou povrchovou tvrdost, přičemž jádro je houževnaté.

#### 4.4 Volba vstřikovacího stroje [2]

Správná volba vstřikovacího stroje je nezbytnou součástí každého technologického návrhu. Volba byla provedena na základě vypočtených konstrukčně technologických parametrů, které jsou v tabulce 4. Parametry vstřikovacího stroje nemohou být menší, než parametry vypočtené. Na základě těchto výpočtů byl vybrán hydraulický vstřikovací lis Allrounder 470S od firmy Arburg, viz obr. 46.

Tab. 4 Základní parametry vstřikovacího stroje a požadované parametry

Parametry	Hodnoty stroje 470S	Vypočtené a zvolené hodnoty	Splňuje	Nesplňuje
Objem dávky [cm <sup>3</sup> ]	254	107,2		
Plastikační kapacita [kg/hod]	25	5,71		
Vstřikovací tlak [bar]	1580	1000		
Přidržovací síla [kN]	1000	522		
Výška formy [mm]	250 až 500	325		
Průměr šneku stroje [mm]	25 až 45	45		
Vzdálenost mezi sloupky [mm]	470x470	248x248		
Maximální otevření [mm]	750	410		
Vstřikovací rychlost [cm <sup>3</sup> /s]	212	71,5		
Pohyb vyhazovače [mm]	175	25		



Obr. 46 Allrounder 470S [2]

## 5 TECHNICKO EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ [10,17]

Technicko ekonomické zhodnocení je nezbytné u každého technologického návrhu výroby. V tomto případě bylo toto zhodnocení rozděleno do 4 částí a to na a) náklady na materiál b) náklady na stroj a obsluhu c) náklady na formu d) celkové náklady na výrobu jednoho výstřiku.

Vzhledem k tomu, že v tomto případě nejsou známy přesné režijní náklady firmy, tak nejsou do výpočtu zahrnuty. Taktéž náklady na výrobu součástí v nástrojárnách jsou pouze orientační. V případě konkrétní zakázky pro konkrétní firmu by tyto nedostatky byly odstraněny.

Tab.5 Základní údaje pro výpočet výrobních nákladů

Položka	Značka	Hodnota	Jednotka
Cena materiálu	$A_m$	55	Kč/kg
Cena el. energie	$E_E$	5	Kč/kWh
Hmotnost výstřiku	$G$	12,19	g
Hmotnost vtokového zbytku	$G_z$	9,4	g
Násobnost formy	$n_T$	6	-
Velikost série	$N$	250000	ks
Doba vstřik. cyklu	$t_c$	57,9	S
Cena stroje	$A$	1 700 000	Kč
Příkon stroje	$P_s$	30	KW
Koeficient opotřebení stroje	$K_1$	0,8	-
Hrubá mzda obsluhy stroje	$M_d$	150	Kč/hod
Návrat nákladů investovaných do stroje	$R_s$	6	rok

### • Náklady na materiál

- Hmotnost připadající na jeden výstřik  $G_c$  [kg]

$$G_c = G + \frac{G_z}{n_T} \quad (5.1)$$

$$G_c = 12,19 + \frac{9,4}{6}$$

$$G_c = 13,76 \text{ g} = 0,01376 \text{ kg}$$

- Náklady na materiál jednoho výstřiku  $N_m$  [Kč]

$$N_m = A_m \cdot G_c \quad (5.2)$$

$$N_m = 55 \cdot 0,01376$$

$$N_m = 0,76 \text{ Kč}$$



- Náklady na materiál pro celou sérii  $N_t$  [Kč]
 
$$N_t = N_m \cdot N$$

$$N_t = 0,76 \cdot 250\,000$$

$$N_t = \mathbf{190\,000\,Kč}$$
(5.3)

- **Náklady na stroj a jeho obsluhu**

- Hodinové náklady na provoz stroje  $N_s$  [Kč]
 
$$N_s = \frac{P_s \cdot E_E}{K_1}$$

$$N_s = \frac{30 \cdot 5}{0,8}$$

$$N_s = 187,5\,Kč$$
(5.4)

- Doba potřebná na výrobu celé série  $t_s$  [hod]
 
$$t_s = \frac{N \cdot t_c \cdot K_z}{3600 \cdot n_T \cdot K_p}$$

$$t_s = \frac{250\,000 \cdot 57,9 \cdot 1}{3600 \cdot 6 \cdot 0,8}$$

$$t_s = 838\,hod$$
(5.5)

- Náklady na provoz stroje během výroby celé série  $N_{pr}$  [Kč]
 
$$N_{pr} = N_s \cdot t_s$$

$$N_{pr} = 187,5 \cdot 838$$

$$N_{pr} = 157\,125\,Kč$$
(5.6)

- Odpisové náklady na stroj  $N_o$  [Kč/hod]
 
$$N_o = \frac{A}{R_s}$$

$$N_o = \frac{1\,700\,000}{6 \cdot 12 \cdot 21,5 \cdot 24}$$

$$N_o = 45,75\,Kč/hod$$
(5.7)

Je uvažován 3 směnný provoz, přičemž počet pracovních dní v měsíci se pohybuje průměrně od 21 do 22.

- Odpisové náklady na stroj za celou sérii [Kč]
 
$$N_{oc} = N_o \cdot t_s$$

$$N_{oc} = 45,75 \cdot 838$$

$$N_{oc} = 38\,350\,Kč$$
(5.8)

- Náklady na mzdu dělníka za celou sérii [Kč]
 
$$N_d = M_d \cdot t_s$$

$$N_d = 150 \cdot 838$$

$$N_d = 125\,700\,Kč$$
(5.9)

- Celkové náklady na stroj a obsluhu za celou sérii[Kč]
 
$$N_{cs} = N_{pr} + N_{oc} + N_d \quad (5.10)$$

$$N_{cs} = 157\,125 + 38\,350 + 125\,700$$

$$N_{cs} = \mathbf{321\,175\,Kč}$$

- **Náklady na formu**

Při stanovení této ceny bylo obtížné určit všechny položky, proto jsou například ceny obrábění polotovarů či jiné operace pouze přibližně odhadovány.

- Ceny normalizovaných součástí byly použity z katalogu firmy Meusburger. Ceny nenormalizovaných dílů byly odhadnuty, dle podobných součástí. Seznam všech položek je uvedený v tab. 6.
- Cena konstrukčních a technologických prací 80 000 Kč.
- Cena zahrnující operace jako např. obrábění, broušení, tepelné zpracování atd. byla odhadnuta na 180 000 Kč.

Při stanovení cen součástí byl použitý kurz ČNB ke dni 22.5.2017, který byl 26,5 CZK za 1 €.

Tab. 6 Ceny jednotlivých dílů formy

Název	Ks	Cena všech kusů [€]
Upínací deska	2	470
Přidržovací deska	1	370
Čelist	2	391
Vodící deska	1	1375
Stírací deska	1	65
Vyhazovací paket	1	210
Vodící lišta	2	178
Středící kroužek	2	46
Vtoková vložka	1	30
Σ Součásti temperačního systému	-	82
Σ Vodící elementy	-	368
Σ Transportní díly	-	220
Σ Šroubení	-	70
<b>Celkem [€]</b>		<b>3935</b>
<b>Celkem [Kč]</b>		<b>104 300</b>

- Odhad nákladů na výrobu formy[Kč]
 
$$N_f = 104\,300 + 80\,000 + 180\,000$$

$$N_f = \mathbf{364\,300\,Kč}$$

- **Odhad celkových nákladů na celou sérii  $N_A$  [Kč]**

$$N_A = N_t + N_{cs} + N_f \quad (5.11)$$

$$N_A = 190\,000 + 321\,175 + 364\,300$$

$$N_A = 685\,475 \text{ Kč}$$

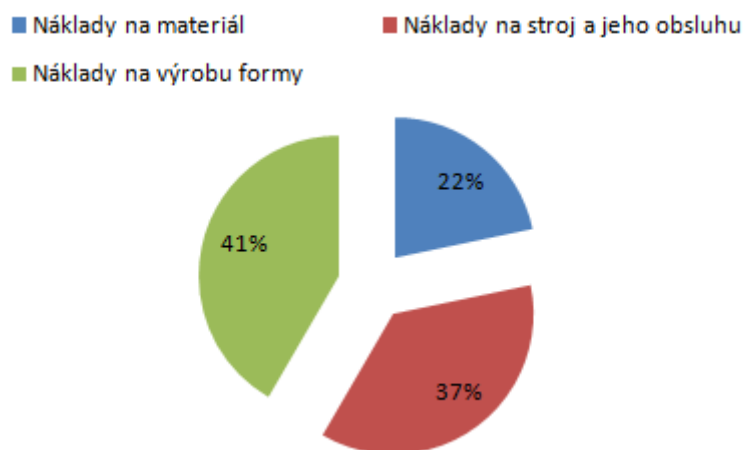
- **Náklady na jeden výrobu jednoho kusu  $N_v$  [Kč]**

$$N_v = \frac{N_A}{N} \quad (5.12)$$

$$N_v = \frac{685\,475}{250\,000}$$

$$N_v = 2,75 \text{ Kč}$$

Procentuální podíly jednotlivých nákladů jsou na obrázku č. 47



Obr. 47 Procentuální rozdělení nákladů

Odhad celkových nákladů na výrobu celé série je 685 475 Kč. Náklady na výrobu jednoho kusu plastové součásti jsou 2,75 Kč. Do celkové ceny nebyly započítány režijní náklady, které v tomto případě nejsou známy. Mezi režijní náklady patří například osvětlení, vytápění budovy, administrativa či údržba.

## 6 ZÁVĚR

Pro vybranou součást závitové koncovky z plastu byla vybrána technologie vstřikování plastů. Na základě požadavků, které jsou kladeny na závitovou část a na požadavky, které jsou důležité vzhledem ke styku plastového dílce s teplou vodou, byl jako vhodný materiál zvolen polypropylen s obchodním názvem Daplen KS 101 od výrobce PCD.

Konstrukce vstřikovací formy byla řešena s ohledem na požadovanou velikost série, která byla 250 000 ks a na dodací lhůtu 2 měsíců. Z těchto vstupních údajů vyplynula šestinásobná forma se studeným vtokovým systémem a bočním vtokem.

Závit na součásti bude vytvořen pomocí dvou čelistí, přičemž otevírání a zavírání čelistí bude zajištěno šikmými kolíky. Tyto čelisti budou mít 4 samostatné temperační okruhy, které by měli zajistit co nejkratší možnou dobu chladnutí. Další temperační okruh se bude nacházet ve spodním tvárníku, kde bude řešený pomocí přepážek. Vyhazování výstřiku zajistí stírací deska. Z důvodu snahy o co největší úspory při konstrukci formy, byly využívány normálie od firmy Meusburger.

Na základě konstrukčně technologických výpočtů byl zvolen hydraulický vstřikovací lis Allrounder 470S od firmy Arburg. Tento lis splňuje všechny důležité požadavky. V praxi by výběr probíhal na základě možností strojového parku dané firmy, kde bude forma použita.

Na konci bylo provedeno technicko ekonomické zhodnocení, ve kterém byla cena výroby celé série odhadnuta na 685 475 Kč a cena jednoho kusu vyšla na 2,75 Kč. Je ovšem nutné dbát na to, že do výpočtu nebyly zahrnuty režijní náklady firmy a některé položky byly pouze odhadovány.

## SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ [6]

1. 14220. *Výroba forem pro vstřikování termoplast* [online]. [cit. 2017-05-24]. Dostupné z: <http://www.14220.cz/technologie/tvareni-plastu-a-vyroba-form-ii/>
2. ARBURG. Allrounder 470 S [online]. [cit. 2017-04-27]. Dostupné z: [https://www.arburg.com/fileadmin/redaktion/Mediathek/Technische\\_Daten/ARBURG\\_ALLROUNDER\\_470S\\_TD\\_528485\\_en\\_US.pdf](https://www.arburg.com/fileadmin/redaktion/Mediathek/Technische_Daten/ARBURG_ALLROUNDER_470S_TD_528485_en_US.pdf)
3. AUSPERGER, Aleš. *Technologie zpracování plastů* [online]. 2015 [cit. 2017-04-12]. ISBN 978-80-88058-77-9. Dostupné z: <https://publi.cz/books/183/Cover.html>
4. BĚHÁLEK, Luboš. *Polymery* [online]. [cit. 2017-04-26]. ISBN 978-80-88058-68-7. Dostupné z: <https://publi.cz/books/180/Cover.html>
5. BOBEK, Jiří. *Vstřikovací formy pro zpracování termoplastů* [online]. [cit. 2017-03-26]. ISBN 978-80-88058-65-6. Dostupné z: <https://publi.cz/books/179/Impresum.html>
6. Citace PRO [online]. [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <https://www.citacepro.com/>
7. DRGA, Tomáš. *Technologické řešení vstřikovacích nástrojů s orientací na polymerní materiály: Technological solution of injection molds with concentration on polymeric materials : zkrácená verze Ph.D. Thesis.*
8. E-chembook. *Syntetické makromolekulární látky* [online]. [cit. 2017-05-24]. Dostupné z: <http://e-chembook.eu/synteticke-makromolekularni-latky>
9. HYNEK, Martin, Eduard MÜLLER a Štěpán HELLER. *STUDENÉ A ŽIVÉ VTOKOVÉ SYSTÉMY* [online]. Plzeň: Západočeská univerzita, 2013 [cit. 2017-05-24]. Dostupné z: [http://kks.zcu.cz/export/sites/kks/projekty-ver-fin/OPVK\\_PU/KA\\_05\\_publikace/KA05\\_Studene\\_a\\_zive\\_vtokove\\_systemy.pdf](http://kks.zcu.cz/export/sites/kks/projekty-ver-fin/OPVK_PU/KA_05_publikace/KA05_Studene_a_zive_vtokove_systemy.pdf)
10. KANDUS, Bohumil. *Technologie zpracování plastů* [Přednášky a cvičení]. Brno: Fakulta strojního inženýrství VUT Brno, 2014 [cit. 18.3.2017].
11. KOLOUCH, Jan. *Strojírenské výrobky z plastů vyráběné vstřikováním*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1986.
12. LENDFELD, Petr. *Zpracování plastů: Vstřikování plastů* [online]. [cit. 2017-03-12]. Dostupné z: [http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce\\_plasty/04.htm](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/04.htm)
13. LENFELD, Petr. *Technologie vstřikování* [online]. [cit. 2017-04-26]. ISBN 978-80-88058-74-8. Dostupné z: <https://publi.cz/books/184/Impresum.html>

14. LENFELD, Petr. *Vstřikovací formy – vtoková soustava* [online]. [cit. 2017-04-24]. Dostupné z: [http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud\\_materialy/tzn/7.pdf](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud_materialy/tzn/7.pdf)
15. LENFELD, Petr. *Technologie II*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2006. ISBN 80-737-2037-X.
16. MEADEx. *meadex-plastic-mouldings-new* [online]. [cit. 2017-05-24]. Dostupné z: <http://www.meadex.co.uk/meadex-plastic-mouldings-new>
17. MEUSBURGER. *Formenbau Einbauteile* [online]. [cit. 2017-04-22]. Dostupné z: [http://update.meusburger.com/wwwdownloads/Meusburger\\_Katalog\\_V5810.exe](http://update.meusburger.com/wwwdownloads/Meusburger_Katalog_V5810.exe)
18. *Preciz s.r.o.* [online]. [cit. 2017-04-12]. Dostupné z: <http://www.preciz.cz/sluzby-hlavni/material-normal>
19. RAM, Arie. *Fundamentals of polymer engineering*. New York: Springer Science Business Media, 1997.
20. ŘEHULKA, Zdeněk. *Konstrukce výlisků z plastů: polymery*. 2. vydání. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2015. ISBN 978-80-7204-919-6.
21. SOVA, Miloš a Josef KREBS. *Termoplasty v praxi*. Praha: Verlag Dashöfer, 2001. ISBN 80-862-2915-7.
22. ŠKEŘÍK, Jan. *Plasty v elektrotechnice a elektronice*. Praha: SNTL-Nakladatelství technické literatury, 1991. ISBN 80-030-0657-0.
23. ŠTĚPEK, Jiří, Antonín KUTA a Jiří ZELINGER. *Technologie zpracování a vlastnosti plastů: celostátní vysokoškolská příručka pro vysoké školy chemickotechnologické, studijní obor 28-10-8 Technologie výroby a zpracování polymerů*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury,
24. VyrobaPlastu. *Vstřikování plastů* [online]. [cit. 2017-05-20]. Dostupné z: <http://www.vyrobaplastu.eu/vstrikovani-plastu/>
25. WEISS, Viktorie a Elena STRÍHAVKOVÁ. *Polymery*. Ústí nad Labem: Univerzita J.E. Purkyně, Fakulta výrobních technologií a managementu, 2014. ISBN 978-80-7414-738-8.
26. ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů: úvod do vstřikování termoplastů*. Praha: BEN - technická literatura, 2009. ISBN 978-80-7300-250-3.

## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Označení	Legenda	Jednotka
$\Delta h$	Rozdíl entalpií	[kJ/kg]
A	Pořizovací cena stroje	[Kč]
$A_D$	Plocha průmětu dílce do dělicí roviny	[cm <sup>2</sup> ]
$a_{eff}$	Efektivní teplotní vodivost	[mm <sup>2</sup> /s]
$A_m$	Cena materiálu	[Kč/kg]
$C_p$	Minimální plastikační kapacita	[J]
$C_v$	Minimální vstřikovací kapacita	[cm <sup>3</sup> ]
$D_s$	Průměr šneku	[mm]
E	Modul pružnosti	[MPa]
$E_E$	Cena elektrické energie	[Kč/kWh]
$f_c$	Délka dráhy toku taveniny	[mm]
$F_p$	Přidržovací síla	[kN]
G	Hmotnost výstřiku	[g]
$\dot{G}$	Průchod taveniny ze stroje do formy	[kg/h]
$G_c$	Hmotnost na jeden výstřik	[g]
$G_z$	Hmotnost vtokového zbytku	[g]
K	Faktor využití pracovního času	[-]
$K_1$	Koeficient opotřebení stroje	[-]
$K_a$	Faktor navýšení objemu	[g/cm <sup>3</sup> ]
$K_f$	Faktor schopnosti tečení	[bar/mm]
L	Otevření formy	[mm]
$L_s$	Délka dráhy pohybu šneku	[mm]
M	Koeficient dráhy toku	[-]
$M_d$	Hrubá mzda obsluhy	[Kč/hod]
N	Exponent rovnice dráhy toku	[-]
N	Velikost výrobní série	[ks]
$N_A$	Celkové náklady na celou sérii	[Kč]
$N_{cs}$	Náklady na stroj a obsluhu za celou sérii	[Kč]
$N_d$	Náklady na mzdu dělníka	[Kč]
$N_f$	Náklady na formu	[Kč]
$N_m$	Náklady na materiál jednoho výstřiku	[Kč]
$N_o$	Odpisové náklady	[Kč/hod]
$N_{oc}$	Odpisové náklady na stroj za celou sérii	[Kč]
$N_{pr}$	Náklady na provoz stroje během celé série	[Kč]
$n_s$	Otáčky šneku	[min <sup>-1</sup> ]
$N_s$	Hodinové náklady ba provoz stroje	[Kč]
$n_T$	Termínová násobnost formy	[-]
$N_t$	Náklady na materiál po celou sérii	[Kč]
$N_v$	Náklady na výrobu jednoho kusu	[Kč]
$p_a$	Tvářecí tlak	[bar]

$p_f$	Minimální plnicí tlak	[bar]
$p_i$	Vnitřní tlak	[MPa]
$P_s$	Příkon stroje	[kW]
$p_v$	Vstřikovací tlak	[bar]
$Q$	Teplo vnesené taveninou do formy	[kJ/hod]
$Q_K$	Odvod tepla pomocí proudění	[W]
$Q_L$	Odvod tepla pomocí vedení	[W]
$Q_M$	Teplo odvedené temperačním médiem	[W]
$Q_R$	Odvod tepla pomocí sálání	[W]
$R_s$	Návrat nákladů investovaných do stroje	[rok]
$s$	Střední tloušťka dílce	[mm]
$s_K$	Pohyb šneku	[mm]
$s_N$	Pohyb nástroje	[mm]
$t_1$	Doba na uzavření formy	[s]
$t_2$	Doba na přisunutí vstřikovací jednotky	[s]
$t_3$	Doba na otevření a vyhození výstřiku	[s]
$t_4$	Prodleva	[s]
$t_d$	Doba dotlaku	[s]
$T_E$	Teplota odformování	[°C]
$T_f$	Teplota viskozního toku	[°C]
$T_F$	Teplota formy	[°C]
$T_g$	Teplota skleného přechodu	[°C]
$t_{ch}$	Doba chlazení	[s]
$T_m$	Teplota tání krystalitů	[°C]
$t_m$	Prodleva	[s]
$T_M$	Teplota taveniny	[°C]
$t_{pl}$	Doba plastikace	[s]
$t_s$	Doba potřebná na výrobu celé série	[hod]
$t_v$	Doba vstřikování	[s]
$v$	Maximální obvodová rychlost šneku	[m/s]
$V$	Objem výstřiku	[cm <sup>3</sup> ]
$V_D$	Velikost dávky taveniny	[cm <sup>3</sup> ]
$V_k$	Objem rozváděcích kanálků	[cm <sup>3</sup> ]
$v_s$	Vstřikovací rychlost	[cm <sup>3</sup> /s]
$X$	Velikost rozevření čelisti	[mm]
$\varepsilon$	Tažnost	[%]
$\alpha$	Úhel mezi šikmým kolíkem a osou pohybu	[°]
$\eta$	Viskozita při smykové rychlosti 1000 s <sup>-1</sup>	[Pa.s]
$\rho$	Hustota	[g/cm <sup>3</sup> ]
$\tau_p$	Požadovaný termín na splnění objednávky	[hod]



## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Příklady výrobků z plastů [16].....	10
Obr. 2 Model zadané součásti se závitovým koncem .....	11
Obr. 3 Princip lisování plastů [12] .....	11
Obr. 4 Princip vstřikování plastů [3].....	12
Obr. 5 Příklady polymerace [8].....	13
Obr. 6 Schéma přípravy fenol-formaldehydu polykondenzací [4] .....	14
Obr. 7 Schéma přípravy polyuretanu polyadící [4].....	14
Obr. 8 Nadmolekulární struktura reaktoplastů [12] .....	15
Obr. 9 Nadmolekulární struktura elastomerů [12] .....	15
Obr. 10 Struktura amorfních plastů [12].....	15
Obr. 11 Struktura semikrystalických plastů [12] .....	16
Obr. 12 Použití barviv do plastů [4].....	16
Obr. 14 Závislost modulu pružnosti a celkové tažnosti na teplotě u semikrystalických plastů [4].....	17
Obr. 13 Výroby zátky z TPE pomocí nadouvadel [4].....	17
Obr. 16 Závislost modulu pružnosti a celkové tažnosti na teplotě u amorfních plastů [4]..	18
Obr. 15 Vliv stupně krystalinity na velikost modulu pružnosti ve smyku [12] .....	18
Obr. 17 Vliv struktury na modul pružnosti ve smyku [12] .....	19
Obr. 18 Schéma vstřikovacího stroje [12].....	19
Obr. 20 Průběh vnitřního tlaku $p_i$ v dutině formy během vstřikování [12] .....	20
Obr. 19 Princip vstřikovacího cyklu [24].....	20
Obr. 21 Princip procesu plnění tvarové dutiny jettingem (vpravo) a laminárním tokem (vlevo) [13].....	21
Obr. 22 Vliv doby přepnutí na průběh tlaku [13].....	22
Obr. 23 Velikost rozsahu objemu dávky u vstřikovacích strojů [13] .....	22
Obr. 24 Řez vstřikovací formou [10] .....	24
Obr. 25 Řez plným kuželovým vtokem [9].....	25
Obr. 26 Řez bodovým vtokem [9] .....	25
Obr. 29 Řez deštníkovým vtokem [9].....	26
Obr. 27 Řez tunelovým vtokem [9] .....	26
Obr. 28 Řez prstencovým vtokem [9].....	26
Obr.30 Příklady uspořádání [12].....	27
Obr. 31 Průřezy vtokových kanálků [1] .....	27
Obr. 33 Vnitřní a vnější vytápění trysky [5] .....	28
Obr. 32 Třidesková forma s izolovaným rozváděcím kanálem [14].....	28
Obr. 34 Vstřikovací stroj [5] .....	31
Obr. 35 Diferenciální šnek [6] .....	32
Obr. 36 Navržené rozmístění pro 6 násobnou formu .....	40
Obr. 37 Zaformování součásti.....	41
Obr. 38 Temperační okruhy v čelistech .....	41
Obr. 39 Temperace tvárníků pomocí přepážek .....	42
Obr. 40 Vyhazovací systém .....	42
Obr. 41 Základní poloha formy.....	43
Obr. 43 Otevření formy.....	44
Obr. 44 Vyhození výstřiku.....	44
Obr. 42 Pohyb čelistí pomocí šikmých kolíků .....	44
Obr. 45 Manipulační prvek .....	45

Obr. 46 Allrounder 470S [2] .....	47
Obr. 47 Procentuální rozdělení nákladů .....	51

## SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Základní vlastnosti materiálu Daplen KS 101 .....	34
Tab. 2 Závislost doby vstřikování na vstřikovaném objemu .....	36
Tab. 3 Seznam materiálů jednotlivých částí vstřikovací formy .....	45
Tab. 4 Základní parametry vstřikovacího stroje a požadované parametry .....	47
Tab. 5 Základní údaje pro výpočet výrobních nákladů .....	48
Tab. 6 Ceny jednotlivých dílů formy .....	50

## **SEZNAM PŘÍLOH**

Příloha 1 Materiálové hodnoty pro PP Daplen KS 101

Příloha 2 Obecné materiálové hodnoty pro PP

Příloha 3 Specifikace vstřikovacího stroje Allrounder 470 S

## **SEZNAM VÝKRESŮ**

Výkres sestavy 153355 – DP – 17 - 000

Čelist 153355 – DP – 17 - 001

Kusovník 153355 – DP – 17 - 100

Závitová součást 153355 – DP – 17 - 200

Materiálové hodnoty vybraných technických plastů

	Jednotka	1	2	3	4	5	6	7	8
Zkratka plastu		PE-LD	PE-HD	PP	PS	ABS	PMMA	POM	PA6
Výrobce		BASF	HOECHST	PCD	BASF	BAYER	RÖHM	DUPONT	BASF
Obchodní název		Lupolen	Hostalen	Daplen	Polystyrol	Novodur	Plexiglas	Delrin	Ultramid
Typ		1800 S	GC 7260	KS 101	143 E	P2H-AT	7 N	500 NC-10	B 3K
Plnivo a jeho podíl	%	–	–	–	–	–	–	–	–
Struktura		K	K	K	A	A	A	K	K
Hustota při 23 °C	g/cm <sup>3</sup>	0,917	0,957	0,905	1,05	1,05	1,19	1,42	1,13
Teplota měknutí dle Vicata	°C	67	71	84	84	95	103	160	204
Viskozita při smyk. rychlosti 1000 s <sup>-1</sup>	Pa.s	60	156	111	73	208	196	224	123
a při teplotě materiálu (taveniny)	°C	210	240	230	230	220	240	215	260
Faktor schopnosti tečení	K <sub>f</sub>	1,2	1,9	1,6	1,3	2,3	2,2	2,5	1,7
Koeficient rovnice dráhy toku	m	170	100	130	160	90	90	80	120
Exponent rovnice dráhy toku	n	1,77	1,82	1,75	1,76	1,73	1,77	1,81	1,77
Teplota materiálu (taveniny)	T <sub>M</sub> °C	180	190 – 280	200 – 280	180 – 280	220 – 260	220 – 260	180 – 225	250 – 270
Teplota formy	T <sub>F</sub> °C	20 – 40	30 – 50	30 – 50	20 – 60	60 – 80	60 – 80	40 – 100	40 – 80
Teplota odformování	T <sub>E</sub> °C	70	80	80	80	90	90	130	100
Max. obvodová rychlost šneku	v m/s	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,25	0,25
Faktor navýšení objemu taveniny	K <sub>a</sub> g/cm <sup>3</sup>	0,78	0,81	0,77	0,91	0,91	1,03	1,21	0,97
Efektivní teplotní vodivost	a <sub>eff</sub> mm <sup>2</sup> /s	0,09	0,092	0,067	0,08	0,08	0,073	0,057	0,083
Rozdíl entalpií	Δh kJ/kg	550	650	520	320	340	301	490	550
Smršnění    nebo ⊥ ke směru tečení	%	2,6 / 2,6	2,4 / 2,4	1,2 / 1,3	0,45 / 0,45	0,5 / 0,5	0,5 / 0,5	1,7 / 1,7	0,9 / 1,1
Absorpce vlhkosti	%	0,01	0,01	< 0,1	< 0,1	–	0,6	0,22	3
Teplota předsušení granulátu	°C	–	–	–	80	80	90	85	80
Doba předsušení granulátu	h	–	–	–	4	1 – 2	4 – 6	4	5 – 10

### Materiálové hodnoty

Materiál zkr.	Hustota	Teplota taveniny	Teplota formy	Teplota odformov.	Vstříkov. tlak	Dolítak	Zpětný tlak	Tvářecí tlak	Měrná teplotní vodivost	Smrštění 	Smrštění ⊥	
	[g/cm <sup>3</sup> ]	[°C]	[°C]	[°C]	[bar]	[bar]	[bar]	[bar]	[mm <sup>2</sup> /s]	[%]	[%]	
PE-HD	k	0,95	250-300	20-60	40-75	600-1350	300-800	60-90	200-600	0,078	1,4-2,5	1,2-2,2
PE-LD	k	0,92	210-250	20-40	30-65	600-1350	300-800	40-80	200-600	0,087	1,8-3,5	1,8-3,0
PP	k	0,91	220-290	20-60	45-80	800-1400	500-1000	60-90	300-650	0,067	1,5-2,5	1,5-2,5
PS	a	1,05	160-230	20-70	20-60	650-1550	350-800	40-80	150-350	0,086	0,2-0,6	0,2-0,6
SB	a	1,05	160-250	30-70	20-65	650-1550	350-900	40-80	200-400		0,5-0,6	0,5-0,6
SAN	a	1,08	200-260	40-80	35-85	650-1550	350-900	40-80	250-450	0,086	0,4-0,6	0,4-0,6
ABS	a	1,06	180-260	50-85	35-90	650-1550	400-900	40-80	300-550	0,084	0,4-0,8	0,4-0,8
PMMA	a	1,18	220-250	60-90	50-110	950-1400	500-1150	80-120	350-550	0,074	0,2-0,8	0,2-0,8
PVC-U	a	1,38	160-180	20-60	45-100	950-1550	500-900	40-80	250-500	0,073	0,7-1,2	0,7-1,2
PVC-P	a	1,28	150-170	20-50	25-55	400-1550	300-600	40-80	150-300	0,072	0,8-3,5	0,8-3,5
PA 6	k	1,14	230-260	40-100	50-110	450-1550	400-900	40-80	350-550	0,089	0,6-2,1	1,0-2,2
PA 66	k	1,15	270-295	50-120	75-150	650-1550	500-1050	40-80	450-750	0,089	1,2-1,9	1,2-2,2
PA 610	k	1,06	220-260	40-100	40-85	450-1550	350-900	40-80	300-500	0,089	0,8-2,0	1,2-2,5
PA 11	k	1,04	200-250	40-100	60-130	450-1550	400-900	40-80	350-550	0,089	0,8-1,4	1,2-2,0
PA 12	k	1,02	200-250	40-100	40-100	550-1550	450-1000	60-90	350-550	0,089	0,8-1,4	1,2-2,0
POM	k	1,42	185-215	80-120	60-130	800-2000	600-1300	40-80	550-1050	0,059	1,6-2,2	2,2-2,6
PC	a	1,20	290-320	70-120	60-130	950-1600	600-1300	80-120	350-650	0,112	0,6-0,8	0,6-0,8
PPO	a	1,06	245-290	70-110	65-110	950-1600	600-1200	60-90	350-600		0,5-0,8	0,5-0,8
PET	k	1,37	260-280	50-140	75-150	800-1500	550-1100	70-110	450-750	0,097	0,5-2,0	0,5-2,0
PBT	k	1,30	230-270	40-80	60-120	800-1500	500-1000	60-100	400-700	0,089	1,7-2,3	1,7-2,3
PPS	k	1,36	300-360	20-200	120-190	750-1500	400-750	40-80	350-650		0,2-0,4	0,8-1,0
PSU	a	1,24	320-390	100-160	100-190	900-1400	500-1100	80-120	400-600		0,5-0,9	0,5-0,9
PEI	a	1,27	340-425	100-175	135-190	750-1500	400-750	40-80	350-650		0,1-0,4	0,3-0,6
CA	a	1,28	185-225	40-60	35-80	650-1350	350-800	40-80	250-450	0,085	0,3-0,6	0,3-0,6



Maschinentyp		470 S	470 S	470 S
EUROMAP-Größenangabe <sup>1)</sup>		800-170   1000-170   1100-170	800-290   1000-290   1100-290	1000-400   1100-400
<b>Schließeinheit</b>				
Schließkraft	max. kN	800   1000   1100	800   1000   1100	1000   1100
Zufuhrkraft	max. kN	50	50	50
Öffnungskraft / erhöht	max. kN	34/ 255	34/ 255	34/ 255
Öffnungsweg	max. mm	500	500	500
Werkzeugeinbauhöhe	min. mm	250	250	250
Abstand zwischen den Aufspannplatten	max. mm	750	750	750
Lichter Säulenabstand	mm	470 x 470	470 x 470	470 x 470
Werkzeugaufspannplatten (b x h)	mm	637 x 637	637 x 637	637 x 637
Gewicht bew. Wkz.-Hälfte	max. kg	760	760	760
Auswerferkraft	max. kN	40	40	40
Auswerfenweg	max. mm	175	175	175
<b>Hydraulik, Antrieb, Sonstiges</b>				
Antriebsleistung der Hydraulikpumpe	kW	15   18,5   18,5	15   18,5   18,5	18,5   22
Trockenlaufzeit bei Öffnungshub <sup>2)</sup>	s/mm	2,3 (1,8)-329   2,1 (1,8)-329   1,8-329	2,3 (1,8)-329   2,1 (1,8)-329   1,8-329	2,1 (1,8)-329   1,8-329
Installierte Gesamtleistung <sup>3)</sup>	kW	26,1   29,6   29,6	23,9   27,4   27,4	30,4   33,9
Farbe: Kunststoffbeschichtung Struktur lichtgrau / mintgrün / rapsgelb				
<b>Schaltschrank</b>				
Sicherheitsvorschrift		DIN EN 60204	DIN EN 60204	DIN EN 60204
Steckdosenkombination (1 Schuko, 1 Cekon)		1 x 16 A	1 x 16 A	1 x 16 A
<b>Spritzeinheit</b>				
Schneckendurchmesser	mm	25 / 30 / 35	30 / 35 / 40	35 / 40 / 45
Wirksame Schneckenlänge	L/D	24 / 20 / 17	23,3 / 20 / 17,5	23 / 20 / 18
Schneckenweg	max. mm	120	150	160
Rechnerisches Hubvolumen	max. cm <sup>3</sup>	59 / 85 / 115	106 / 144 / 188	154 / 201 / 254
Schussgewicht	max. g PS	54 / 77 / 105	97 / 132 / 172	141 / 184 / 232
Materialdurchsatz <sup>4)</sup>	max. kg/h PS	10 / 13,5 / 16	17 / 20,5 / 24,5	25 / 29 / 35
	max. kg/h PA 6.6	5 / 7 / 8	8,5 / 10,5 / 12,5	12,5 / 15 / 17,5
Spritzdruck <sup>3)</sup>	max. bar	2500 / 2000 / 1470	2500 / 2000 / 1530	2500 / 2000 / 1580
Einspritzstrom <sup>3)</sup>	max. cm <sup>3</sup> /s	94 / 136 / 186   120 / 172 / 236	102 / 140 / 182   130 / 178 / 232	128 / 168 / 212
		120 / 172 / 236	130 / 178 / 232	128 / 168 / 212
Einspritzstrom mit Speicher	max. cm <sup>3</sup> /s	216 / 312 / 424	316 / 430 / 562	492 / 642 / 814
Staudruck positiv / negativ	max. bar	350 / 200	350 / 200	350 / 160
Schneckenumfangsgeschwindigkeit	max. m/min	49 / 59 / 69   63 / 75 / 80	46 / 54 / 62   59 / 69 / 79	47 / 53 / 60
		63 / 75 / 80	59 / 69 / 79	47 / 53 / 60
Schneckendrehmoment	max. Nm	210 / 250 / 290	320 / 380 / 430	480 / 550 / 610
Düsenanlagkraft	max. kN	50	60	60
Düsenabhebeweg	max. mm	210	240	300
Installierte Zylinderheizleistung / Heizzonen	kW	8,8 / 4	5,8 / 4	8,8 / 4
Installierte Düsenheizleistung	kW	0,6	0,6	0,6
Inhalt Granulatbehälter	l	50	50	50
Horizontale Einspritzposition	max. mm	170	170	170
<b>Maße und Gewichte der Basismaschine</b>				
Ölfüllung	l	175	175	175
Nettogewicht	kg	4500	4550	4750
Elektrischer Anschluss (Vorsicherung) <sup>5)</sup>	A	80   80   80	80   80   80	80   100